Edoardo Mori

BALISTICA PRATICA

Tutta la balistica esterna, interna, terminale, venatoria,
esposta in modo facile e semplificato
per periti balistici, cacciatori e curiosi

Bolzano, 2013

Edoardo Mori è un magistrato da poco in pensione che da oltre trent'anni si occupa di diritto delle armi, di tecnologia delle armi, di balistica, di scienze forensi, di caccia. Dal 1997 pubblica i suoi scritti nel suo sito www.earmi.it. Qui ha raccolto il materiale elaborato nel corso degli anni, non per far concorrenza ai fisici ed ai matematici, ma solo per essere utile ai curiosi ed alle "persone colte", come un tempo veniva scritto sulla copertina dei manuali Hoepli. L'opera è senz'altro sufficiente per guidare i periti balistici nel risolvere i problemi che si possono presentare nella pratica giudiziaria.

E.M.

PREFAZIONE

I rari testi di balistica reperibili in commercio o nelle biblioteche sono stati scritti per frequentatori di istituti militari o di qualche facoltà universitaria ad indirizzo scientifico; presuppongono quindi la conoscenza delle matematiche superiori o, quanto meno, una certa confidenza con esse. Inoltre essi si propongono di mettere in grado lo studioso di calcolare traiettorie balistiche di proiettili di artiglieria oppure di missili, tenendo conto di tutte le forze interagenti su di essi e di tutte le cause di perturbazione, il che comporta necessariamente una loro notevole complessità.

Naturale quindi che queste opere siano pressoché inaccessibili al comune appassionato di armi, al cacciatore, al perito balistico e, perché no, al militare, che intendono solamente di poter eseguire qualche calcolo concreto sui proiettili delle armi in loro possesso. Questo libro è studiato in modo particolare per i periti balistici che hanno bisogno di spiegare in modo chiaro e accessibile i dati balistici di un caso.

Qualcuno si chiederà: ma non basta un piccolo programma per computer o per cellulare? Sarebbe come chiedersi se dopo l' invenzione della calcolatrice sia ancora utile studiare la matematica. La balistica è una scienza multidisciplinare molto complessa che non può essere ridotta a un po' di formulette e calcoli. Chi vuol ragionare di balistica deve avere le idee molto chiare su tutte le forze che entrano in gioco quando si spara un proiettile, quando esso viaggia nell'aria, quando esso penetra nel bersaglio. Chi usa un programma, o pensa di crearne uno, deve sapere quali dati inserire, quali formule usare, come valutare i dati ottenuti.

Queste considerazioni mi hanno stimolato a scrivere il presente libro. Dopo ampie ricerche in tutta la letteratura specializzata,ho riunito ed esposto, nel modo più chiaro e semplice che mi è stato possibile, tutte quelle nozioni di balistica esterna e terminale e tutti quei sistemi di calcolo balistico ai quali è possibile accedere disponendo delle sole nozioni matematiche apprese nelle scuole medie superiori. Nonostante la semplicità dell'esposizione e la semplificazione dei metodi, i risultati ottenuti son più che sufficienti, non solo per risolvere con sufficiente precisione tutti i problemi teorici o pratici che possono presentarsi nello studio e nell'impiego delle armi leggere, ma anche per fornire dati orientativi nel tiro delle artiglierie.

La materia è stata idealmente divisa, come d'uso, fra la balistica esterna, la balistica interna e la balistica terminale. Nella prima parte sono esposte le nozioni teoriche generali, le formule relative alla balistica esterna nel vuoto e tutte quelle formule approssimate che, in forza di alcuni dati noti di una traiettoria, consentono di risalire ad altri dati ignoti. Dopo l'esame di alcuni casi speciali di traiettoria (la gittata massima, lo sparo verticale, ecc.), vengono riportati in modo particolare quei metodi che consentono di calcolare con accettabile approssimazione i parametri di tiro utile delle armi leggere, tenuto conto di tutte le possibili cause che concretamente influiscono su di essi (angolo di sito, cause di perturbazione, ecc.). Seguono poi alcuni capitoli su argomenti di particolare interesse pratico come la penetrazione dei proiettili, l'acustica dello sparo, il pendolo balistico.

In appendice è esposto il calcolo della traiettoria mediante l'uso delle tavole di ritardazione.

Nell'esporre la materia ho sempre abbinato la formula teorica all'esempio pratico, sia per fornire immediato riscontro dell'impiego e della validità della formula, sia per rendere la formula stessa accessibile anche a chi mal si destreggia con i simboli matematici: in sostanza per applicare la maggior parte delle formule indicate è sufficiente saper premere nella giusta sequenza i tasti di un piccolo calcolatore tascabile del tipo "scientifico". Inoltre l'esempio pratico aiuta a scoprire eventuali errori di battitura nelle formule.

L’autore, pur non essendo proprio un matematico (.. e si vede, diranno in molti!), ma un magistrato, ha voluto semplicemente rendersi utile a tutti coloro che si trovano nella sua stessa situazione e chiede anticipatamente venia per gli affronti inevitabilmente commessi ai danni della rigorosa terminologia scientifica.

In quest'opera non vengono trattati argomenti quali i residui di sparo e l'identificazione di armi e proiettili, che richiedono l'impiego di scienze o tecnologie ulteriori.

Bolzano, 2013

Edoardo Mori

Nota: Una prima edizione di questo testo venne pubblicata nel 1983 con la collaborazione del Gen. Lorenzo Golino, ormai scomparso. Questa nuova edizione è stata ampiamente riveduta e corretta.

NOTE STORICHE INTRODUTTIVE

La nascita della scienza balistica, cioè dello studio dei corpi solidi lanciati nello spazio, nasce con l'affermarsi delle armi da fuoco. In precedenza, infatti, il problema riguardante il lancio di corpi solidi veniva affrontato in via esclusivamente sperimentale, non ritenendosi di scomodare le scienze matematiche per spiegare fenomeni facilmente valutabili *ictu oculi*. Il primo trattato di balistica razionale, cioè ispirato alle leggi della fisica nelle equazioni del moto, è rappresentato dal volume *Nova scientia inventata da Niccolò Tartaglia* scritto nel 1537 dal bresciano Tartaglia, uno dei massimi algebristi della storia e primo vero studioso di balistica. Osserva il Tartaglia che la traiettoria, in ogni suo tratto, non può che essere curvilinea, anche se a volte la curvatura è talmente ridotta da potersi considerare simile alla retta. Sostiene che la massima curvatura si trova in prossimità del vertice della traiettoria, in corrispondenza del ramo discendente: osservazione che stupisce oggi per la sua esattezza. Tartaglia, inoltre, ritiene che l'angolo di proiezione che origina la massima gittata sia pari a 45° e deduce che con angoli di tiro complementari si ottengono eguali gittate. In materia di balistica interna, intuisce con grande acume che la lunghezza della canna dovrebbe essere tale da consentire la completa combustione della carica di lancio: niente di più e niente di meno.

Il secondo gigantesco passo della balistica viene compiuto dopo circa un secolo, con Galileo, che getta le basi della dinamica. Facendo astrazione dalla resistenza dell'aria (e come vedremo, al suo tempo l'errore era praticamente accettabile) Galileo assume che il moto del proiettile sia la risultante di due movimenti: uno orizzontale di velocità costante ed uno verticale, uniformemente accelerato. La traiettoria galileiana, pertanto, è una curva parabolica di

secondo grado della quale si conoscono, sul piano matematico, alcune interessanti proprietà. In un secondo tempo, Galileo prende in considerazione la resistenza dell'aria sul proiettile e sostiene, abbastanza giustamente, che tale resistenza è direttamente proporzionale alla velocità iniziale ed inversamente proporzionale alla massa del proietto.

Nei primi anni del diciottesimo secolo Newton affronta il problema balistico sdoppiandolo nei due aspetti fisico e matematico. Sul piano fisico, partendo dai suoi studi sulla caduta dei gravi, Newton deduce che la resistenza dell'aria è proporzionale al quadrato della velocità. Sul piano analitico, però, riesce a determinare la traiettoria soltanto supponendo che la resistenza sia proporzionale alla velocità in prima potenza e conclude che la curva relativa non è una parabola, ma un'iperbole. Qualche anno dopo nasceva una disputa tra il Bernoulli, discepolo di Leibnitz e l'inglese Keill: oggetto del contendere era la priorità sullo studio delle derivate, da attribuire a Newton o a Leibnitz. Nell'ambito di tale sfida, il Bernoulli, nel 1719, riesce ad integrare l'equazione del moto di un corpo in un fluido omogeneo che opponga resistenza proporzionale al quadrato della velocità; addirittura, il Bernoulli fornisce la soluzione generale del problema che contempla qualunque potenza delle velocità. È questo, un altro passo gigantesco, che porta molto vicino ai risultati dei nostri giorni.

Nel 1753 Eulero, basandosi sulle formule del Bernoulli e sulla teoria di Newton, ricava per la prima volta, una traiettoria calcolata per archi successivi e fornisce una tabella di funzioni per un calcolo del genere. Altre analoghe tabelle, migliorate, saranno studiate nel 1844 dal generale Otto.

Il fisico inglese Robins, nel 1741, realizza il pendolo balistico con il quale si può determinare sperimentalmente la velocità di un proiettile. L'invenzione del pendolo balistico lancia in tutta Europa una serie di studi empirici di grande utilità, che portano a notevoli perfezionamenti di questo prezioso strumento di misura.

Attorno al 1840 si fa strada nella balistica una innovazione rivoluzionaria. Nei principali paesi europei numerosi inventori (Montigny, Timmermans, Treuille de Beaulieu) tra cui campeggia l'italiano Giovanni Cavalli, riescono a realizzare praticamente ciò che Benjamin Robins aveva già teorizzato nel 1742 nella sua opera

Nuovi principi di artiglieria e cioè l'impiego nelle artiglierie di canne a rigatura elicoidale e di proiettili allungati.

I proiettili sferici del tempo e dei periodi precedenti mancavano di precisione per le rotazioni irregolari che assumevano dopo essere stati espulsi dalle armi. Tentativi precedenti di rigatura avevano sortito effetti poco soddisfacenti. La soluzione del Cavalli affronta il problema alla radice: il proiettile oblungo, impegnato in una rigatura elicoidale, ruota attorno al suo minimo asse d'inerzia, con maggiore stabilità. Si consideri che, all'epoca, erano ancora ignote le proprietà del giroscopio. La rotazione del proiettile, tuttavia, complica enormemente il problema matematico della traiettoria.

Si segnalano per le loro brillanti deduzioni, nel nuovo campo di indagine, il Saint Robert ed il Majevski, oltre ad una serie di studiosi minori che conducono importanti esperienze in Francia ed in Italia, nel decennio 1860-70. Proprio nel corso di tali studi viene impiegato per la prima volta a Gâvre, nel 1859, il cronografo elettrico, in sostituzione del pendolo balistico.

II cronografo consente di misurare la velocità del proietto in due punti della traiettoria e di dedurre dati attendibili sulla resistenza dell'aria.

Di pari passo con il progresso sperimentale, si registra un analogo sensibile progresso dell'analisi matematico-balistica ad opera del Borda e del Legendre, che migliorano il metodo base di Eulero introducendo lo studio degli sviluppi in serie.

Si giunge quindi al 1880, anno nel quale viene pubblicato il primo studio di Francesco Siacci, brillante matematico ed ufficiale di artiglieria, che propone la soluzione di tutti i problemi del tiro mediante il ricorso ad una semplice tavola numerica (la *tavola di tiro*). Il successo del Siacci è enorme e di portata mondiale. Il metodo Siacci viene successivamente perfezionato, con tavole sempre più complete ed estese, ma rimane l'unico che consenta di calcolare l'intera traiettoria in un solo arco. Benché superato, il metodo Siacci si presta ancora egregiamente ad esperienze di poligono. Il Siacci possiede il merito di aver per primo individuato il coefficiente balistico, cioè l'espressione numerica della capacità di un proiettile a penetrare nel fluido, vincendone le resistenze.

La nascita di proiettili ad elevata velocità conseguente all'adozione delle polveri infumi ha reso più complesso il campo di indagine. Accanto al cosiddetto "primo problema balistico" consistente nello studio della resistenza del mezzo al progredire del proiettile, nasce il "secondo problema balistico", consistente nello studio della deviazione laterale subita dalla traiettoria sul piano orizzontale per effetto del moto rotatorio del proiettile. All'attuale stadio di conoscenza, i due problemi devono essere studiati separatamente.

Gli studi più recenti sono rivolti verso espressioni analitiche della funzione resistente sempre più perfezionate ed aderenti alla realtà. Si è abbandonato il metodo di calcolo completo della traiettoria, preferendo ad esso il più preciso metodo di calcolo per archi successivi. Si tratta di un procedimento certamente lungo e laborioso, che i moderni calcolatori elettronici facilitano enormemente. I coefficienti di forma del proiettile vengono determinati, spesso, in via sperimentale, facendo ricorso alle gallerie a vento delle quali i recenti studi aeronautici e missilistici hanno incrementato e perfezionato le caratteristiche. L'impiego del radar consente di eseguire misurazioni precise della traiettoria anche su lunghi percorsi.

BALISTICA ESTERNA

RICHIAMI DI FISICA

La balistica è quel ramo della fisica meccanica che stadia il moto dei proiettili. Appare opportuno richiamare per completezza di trattazione, la terminologia ed i principi fondamentali di più diretto impiego.

I corpi hanno la proprietà della mobilità e della inerzia.

Dicesi *mobilità* la facoltà dei corpi di poter occupare successivamente diverse posizioni nello spazio. Un corpo può trovarsi in movimento oppure in stato di quiete o riposo.

Dicesi *inerzia* la proprietà per la quale un corpo non può da solo modificare il suo stato di quiete o di moto.

Secondo il principio d'inerzia "lo stato di quiete o di movimento di un corpo abbandonato a se stesso non può essere modificato che da una causa esterna agente sul corpo".

Forza è appunto la causa esterna capace di produrre o modificare un moto, cioè di vincere l'inerzia.

Gravità è la forza che fa cadere un corpo solido quando è liberamente abbandonato a se stesso e si manifesta come peso sopra un appoggio che impedisce al corpo di cadere.

La forza di gravità agisce su tutte le singole molecole che costituiscono un corpo. Il punto invariabile di un corpo, per cui passa la risultante di tutte le azioni eguali e parallele che la gravità esercita sulle diverse molecole è detto *centro di gravità*.

II movimento di un corpo è caratterizzato dalla traiettoria e dalle leggi del moto.

Traiettoria è la linea continua costituita dalle diverse posizioni occupate dal centro di gravità del corpo in tempi successivi (può essere rettilinea, curvilinea, ecc.).

Direzione del moto, in un punto qualunque di una traiettoria curvilinea, è la direzione della tangente alla traiettoria in quel punto.

Legge del moto è la relazione che esiste tra gli spazi percorsi dal corpo ed i tempi impiegati a percorrerli.

Il moto può essere *uniforme* o *vario.*

Si dice che un corpo possiede moto uniforme quando in tempi eguali e successivi, comunque piccoli, percorre spazi eguali e nella stessa direzione; vale a dire che gli spazi percorsi dal mobile sono proporzionali ai tempi impiegati a percorrerli.

Dicesi velocità di un moto uniforme lo spazio percorso dal mobile nell'unità di tempo.

La formula del moto uniforme è

$$S = Vt$$

da cui $V = S/t$

e $t = S/V$

Nella rappresentazione grafica con assi cartesiani il moto uniforme è rappresentato da una linea retta.

Ogni moto non uniforme è "vario". In esso il rapporto spazio/tempo, cioè la velocità, varia nel periodo considerato.

Poiché la velocità varia da un istante all'altro, non potrà più parlarsi di velocità in genere, ma di velocità istantanea (vale a dire la velocità del mobile in un determinato istante, ovvero velocità che il mobile avrebbe in quel momento se cessasse ogni variazione di rapporto spazio temporale ed il moto diventasse uniforme), e velocità media in un dato intervallo di tempo, (vale a dire la velocità riferita al moto uniforme, con il quale il mobile percorrerebbe lo stesso spazio durante lo stesso tempo).

Il moto vario è *accelerato* se la sua velocità cresce col tempo, *ritardato* se decresce.

Se la velocità cresce o decresce proporzionalmente al tempo, il moto dicesi uniformemente accelerato o ritardato.

Accelerazione dicesi la misura costante di cui la velocità cresce o decresce durante ogni unità di tempo. Essa è positiva nel moto uniformemente accelerato, negativa nel moto uniformemente ritardato.

Indicando con "a" l'accelerazione e con " V_o " la velocità iniziale, la velocità finale "V" sarà data da

$V = V_o + at$ per il m.u. accelerato

$V = V_o - at$ per il m.u. ritardato

Se il corpo parte dallo stato di quiete, si ha

$Vo = 0$ e quindi $V = at$

Graficamente, la curva delle velocità nel moto uniformemente vario è una linea retta. La curva degli spazi è una parabola.

Le formule che descrivono il moto uniforme vario sono riportate nella tavola che segue.

MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO
O RITARDATO

$V = at$	$V = \sqrt{2aS}$	$S = \frac{at^2}{2}$	$S = \frac{V^2}{2a}$
$V = V_0 + at$	$V = \sqrt{V_0^2 + 2aS}$	$S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$	$S = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$
$V = V_0 - at$	$V = \sqrt{V_0^2 - 2aS}$	$S = V_0 t - \frac{at^2}{2}$	$S = \frac{V_0^2 - V^2}{2a}$

Se in luogo di *a* si inserisce la forza di gravità $g = 9,81$ e in luogo di *S* l'altezza di caduta *H* le formule risolvono problemi relativi alla caduta dei gravi (moto uniformante accelerato) o al lancio dei gravi verso l'alto (moto uniformante ritardato).

$V = gtg$	$V = \sqrt{2gH}$	$H = \frac{gt^2}{2}$	$H = \frac{V^2}{2g}$
$V = V_0 + gt$	$V = \sqrt{V_0^2 + 2gH}$	$H = V_0 t + \frac{gt^2}{2}$	$H = \frac{V^2 - V_0^2}{2g}$
$V = V_0 - gt$	$V = \sqrt{V_0^2 - 2gH}$	$H = V_0 t - \frac{gt^2}{2}$	$H = \frac{V_0^2 - V^2}{2g}$

NOTA: Nella prima riga sono riportate le formule per il moto accelerato senza velocità iniziale. Nella seconda riga quelle con velocità iniziale. Nella terza le formule per il moto uniformemente ritardato.

Le relazioni tra le forze ed i movimenti che esse causano sono studiate dalla dinamica.

Leggi fondamentali della dinamica sono

LEGGE DI INERZIA (Keplero): un corpo in riposo non può mettersi da sé in movimento. Un corpo materiale in movimento non può da sé modificare la misura né la direzione della propria velocità. Da un diverso punto di vista si può dire che un corpo che non subisce influenze esterne non può essere che in quiete o animato da moto rettilineo uniforme.

UGUAGLIANZA DELL'AZIONE E DELLA REAZIONE (Newton): tutte le volte che un corpo agisce su di un altro corpo rigido, questi reagisce sul primo con una forza uguale di senso contrario.

MOVIMENTI RELATIVI (Galileo): L'effetto di una forza su di un corpo è indipendente dal movimento anteriormente posseduto dal corpo stesso. Una forza costante che agisce su di un corpo può dar luogo a tre diversi tipi di movimento:

a) agendo su di un corpo libero in quiete, gli imprime un moto rettilineo uniformemente accelerato;

b) agendo su di un corpo animato di velocità iniziale e nella stessa direzione, gli imprime un movimento rettilineo uniformemente accelerato;

c) agendo su di un corpo animato da una velocità iniziale avente diversa direzione, gli imprime un moto parabolico.

La gravità è una forza che può ritenersi costante: perciò un corpo nel vuoto cadrà con moto uniformemente accelerato. I problemi relativi alla caduta dei corpi nel vuoto saranno quindi risolvibili con le formule della tabella sopra riportata in cui l'accelerazione "a" sarà rappresentata dalla gravità "g".

La gravità è misurata dal doppio dello spazio percorso dal corpo durante il primo secondo di caduta ed il suo valore medio sul livello del mare è di m. 9,81 al secondo per secondo.

I valori effettivi variano da 9,781 all'equatore a 9,831 ai poli secondo la seguente formula

$$g = 9{,}780490(1 - 0{,}0052884 sen^2\beta - 0{,}0000059 sen^2 2\beta)$$

Dalla formula $V = V_o - gt$ si ricava che un corpo lanciato in alto si arresta dopo un tempo

$$t = V_o / g$$

Inserendo questo valore di t nella formula

$$H = V_o\, t - (gt^2/2)$$

si ricava che il corpo si arresterà dopo aver percorso lo spazio

$$H = V_0^2/2g$$

Esempi: Un sasso raggiunge il fondo di un pozzo dopo 5". Quanto è profondo il pozzo, trascurando la resistenza dell'aria?

$$H = 9{,}81 \times 5^2/2 = 122{,}62\ m$$

Un sasso è lanciato in alto con velocità iniziale di 49 m/s Quale altezza avrà raggiunto dopo 3" e quale sarà l'altezza massima raggiunta?

$$H = 9{,}81 \times 3^2/2 = 102{,}85\ m$$

Il tempo in cui si arresterà

$$t = 49/9{,}81 = 5''$$

L'altezza massima sarà

$$49^2/(2 \times 9{,}91) = 122{,}6\ m$$

Quando più forze agiscono simultaneamente su di un corpo, ognuna di esse opera effetti indipendenti dalle altre. Se una delle forze F è il peso P del corpo, l'accelerazione corrispondente sarà quella "g" dovuta alla gravità sicché

$$F = P \cdot a/g$$

vale a dire che il valore della forza è misurato dal peso del corpo moltiplicato per il rapporto fra accelerazione "a" dovuta alla forza e quella "g" dovuta alla gravità; da ciò si ricava l'assunto (importantissimo) che la massa inerziale data da F/a = m è uguale alla massa gravitazionale P/g = m.

Massa è il rapporto fra il peso del corpo e l'accelerazione di gravità

$M = P/g$ da cui $P = Mg$

o, in generale,

$$F = Ma$$

Il prodotto *Ma* rappresenta la misura dinamica di una forza: l'intensità di una forza è uguale al prodotto della massa del corpo a cui è applicata per l'accelerazione del movimento che essa produce.

Esempi:

- Sopra un corpo che pesa 300 kg agisce una forza costante che produce l'accelerazione di 3 m/s². Determinare F

$$F = 300 \times 3 / 9{,}81 = 91{,}74\ kg$$

- Che forza ha agito su di un corpo pesante kg 2000 per farlo passare in 15" dalla velocità di 10 m/s alla velocità di 115 m/s ?

$$V = V_o + at;\ 115 = 10 + 15a;\ a = 7\ m/s^2$$

$$F = 200 \times 7 / 9,81 = 1427\ kg$$

L'unità di massa è quella di un corpo al quale la forza di un kg imprime l'accelerazione di 1 m/s^2.

L'unità di forza è quella forza che agendo sull'unità di massa le imprime l'accelerazione di 1 m/s^2 .

La "quantità di moto" di un corpo in movimento è il prodotto MV della sua massa per la velocità che esso possiede nell'istante considerato.

Da ciò il principio importantissimo che le velocità impresse da una stessa forza a corpi di massa diversa sono inversamente proporzionali alle masse dei corpi ed ancora, che quando una determinata forza agisce per lo stesso tempo su corpi di massa diversa, la quantità di moto è la stessa; in pratica quello che si guadagna in massa posta in movimento, si perde in velocità e viceversa.

Una forza quindi imprime a due corpi di peso diverso velocità inversamente proporzionali ai rispettivi pesi:

$$V : V' = P' : P$$

Una forza imprime a due corpi di peso diverso accelerazioni inversamente proporzionali alle rispettive masse.

$$M : M' = a' : a$$

L'**impulso** è il prodotto di una forza per il tempo durante il quale essa agisce. L'impulso di una forza costante agente su di un corpo che parte dalla quiete è eguale alla quantità di moto

$$Ft = MV$$

Non esistono forze istantanee.

Forza di inerzia è quella forza contraria alla forza F e capace di equilibrarla.

Il lavoro di una forza costante applicata ad un corpo è dato dal prodotto dell'intensità della forza agente nel senso del moto per lo spazio percorso dal corpo

$$L = FS$$

Unità di lavoro è il chilogrammetro (kgm) che corrisponde al sollevamento del peso di un kg all'altezza di un metro. Questo va-

lore è indipendente dalla durata, cioè dal tempo impiegato a compiere il lavoro.

Nel nuovo sistema di unità di misura si usa il Joule; 1 kgm = 9,81 J

Forza viva: se un corpo è dotato di moto di traslazione, dicesi forza viva il prodotto della sua massa per il quadrato della sua velocità: MV^2 .

Affinché un corpo di massa M dalla quiete venga messo in moto con una data velocità V, occorrerà spendere, un lavoro eguale alla metà della forza viva

$$L = MV^2/2$$

detto anche energia cinetica.

Se il corpo già possedeva una velocità iniziale V si avrà

$$L = M\ (V^2 - V_o^2)/2$$

Inversamente, un corpo in movimento che si ferma è capace di produrre un lavoro. eguale a quello speso per metterlo in movimento e per fargli acquistare la velocità prima posseduta.

URTO DEI CORPI

Teorema di Carnot: nell'urto tra corpi anelastici o molli si verifica sempre una cessione di forza viva e perciò di lavoro; nello urto tra corpi perfettamente elastici non vi è perdita di forza viva e non si perde quindi lavoro. Nell'urto tra due corpi M e M' molli che si muovono nella stessa direzione con velocità V e V', la velocità comune V_o dopo l'impatto sarà

$$V_o = (MC+ M'V')/(M+M')$$

Se i corpi si muovono in senso contrario si avrà

$$V_o = (MV - MV')/(M+M')$$

e quindi in generale

$$V_o = (MV\pm M'V')/(M+M') = (PV\pm P'V')/(P+P')$$

Se uno dei due corpi è fermo e quindi V' = 0 si avrà

$$V_o = MV/(M+M')$$

Nell'urto diretto fra corpi elastici, in pratica, vi è uno scambio di velocità. La perdita di velocità subita dal corpo urtante è doppia di quella che avrebbe subito se il corpo fosse stato anelastico; la velocità acquistata dal corpo urtato è doppia di quella che avrebbe acquistato se fosse stato anelastico. Dati quindi i due corpi clastici A e B che si muovono stessa direzione con velocità V e V' , le ve-

locità Va e Vb dopo l'urto, e con V_0 la velocità che avrebbero acquistato se anelastici, sarà

$$Va = 2\ V_o - V \text{ e } V_b = 2\ V_o - V'$$

Se le masse dei due corpi fossero eguali, si avrebbe un esatto scambio di velocità; se il corpo urtato fosse fermo e di egual massa di quello che lo investe, si arresterebbe, mentre quello urtato si muoverebbe con la velocità del primo.

Ritorneremo in seguito sul problema del rimbalzo di corpi che si urtano.

Conversione di misure

moltiplicando	per	si ottiene
cm	0,3937	pollici
pollici	2,540	cm
metri	3,2808	piedi
piedi	0,3048	m
metri	1,0936	yarde
yarde	0,914	m
metri	39,37	pollici
km	0,6214	miglia
miglio	1,6093	km
miglio mar.	1,852	km
m/s	3,2808	fts
fts	0,3048	m/s
m/s	3,60	kmh
kmh	0,2778	m/s
ft/s	0,6818	m.p.h.(miles per hour)
m.p.h.	0,447	m/s
cm^2	0,1550	sq.in.
sq.in.	6,4516	cm^2
m^2	10,764	sq. ft.
sq. ft.	0,0929	m^2
cm cub	0,061024	cu.in.
cu.in.	16,387	cm cub
dcm cub	0,0353	cu.ft.
cu.ft.	28,317	dcm cub
metro cub	35,315	cu.ft.
l (litro)	1,76	pinte
grammo	15,432	grs (grani)
gr.(grano)	0,0648	grammo
grammo	0,564	drs (dracme)
drs	1,772	grammo
grammo	0,0353	oz (once)
oz	28,349	grammo
kg	2,2046	lbs (libbre)
lb	0,45359	kg
t (tonnellate)	0,9842	ton
ton.	1,016	t

kgm	7,233	ft.lb
ftlb	0,1383	kgm
at (kg/cm^2)	14,227	psi (pounds/square inch)
psi	0,0703	at

In alcune formule si è usata la notazione esponenziale. Si ricorda che, ad esempio

$$5 \cdot 10^{3} = 5 \cdot 1000 = 5.000$$
$$5 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 1/1000 = 0,005$$

e che nei libri con misure anglosassoni si usa il punto in luogo della virgola, e viceversa.

LA TRAIETTORIA DI UN PROIETTILE NEL VUOTO

Il "vuoto assoluto" non esiste e, quindi, potrebbe sembrare un inutile esercizio matematico lo studio del moto di un proiettile non soggetto ad alcuna resistenza.

In realtà, e con una buona approssimazione, lo studio della traiettoria di un proiettile viaggiante nel vuoto, che pertanto non subisce alcun rallentamento dovuto alla resistenza dell'aria, ma è soggetto soltanto alla forza di gravità, risulta molto utile.

Certamente le formule che se ne ricavano non sono applicabili agli usuali proiettili di arma da fuoco con elevate velocità iniziali, ma occorre rilevare che possono servire per calcoli approssimativi e soprattutto che, qualora siano riferiti alla traiettoria di proiettili pesanti e con bassa velocità, possono essere egregiamente applicate (con adeguati coefficienti di correzione) al moto nell'aria, e consentono di fornire una idea generale del moto del proiettile, non troppo complicata dal punto di vista matematico.

In genere si ritiene che l'approssimazione sia molto buona per corpi che viaggiano a meno di 30 m/s e accettabile per corpi aerodinamici fino a 90 m/s

Già abbiamo visto che un corpo lanciato (o sparato) nel vuoto è soggetto a due sole forze indipendenti l'una dall'altra; l'impulso iniziale impressogli ed il peso (pari al prodotto della massa e dell'accelerazione di gravità).

L'impulso iniziale tende ad imprimere al corpo (che d'ora in poi chiameremo proiettile) un moto uniforme e rettilineo. La forza peso tende a far cadere il proiettile verso il suolo con moto uniformemente accelerato (9,81 m/s^2).

La componente orizzontale della velocità è costante in direzione ed in valore.

Supponendo la Terra piatta e ferma, la combinazione dei due moti dà come risultato un percorso parabolico da parte del proiettile.

Immaginiamo all'inizio che la forza di gravità non agisca e che il proiettile venga sparato con l'angolo φ e con la velocità V. Dopo 1,2,3 ..... secondi esso si troverà nei punti 1,2,3..... sulla linea di proiezione e, per inerzia, proseguirebbe all'infinito nella stessa direzione (Fig. 1).

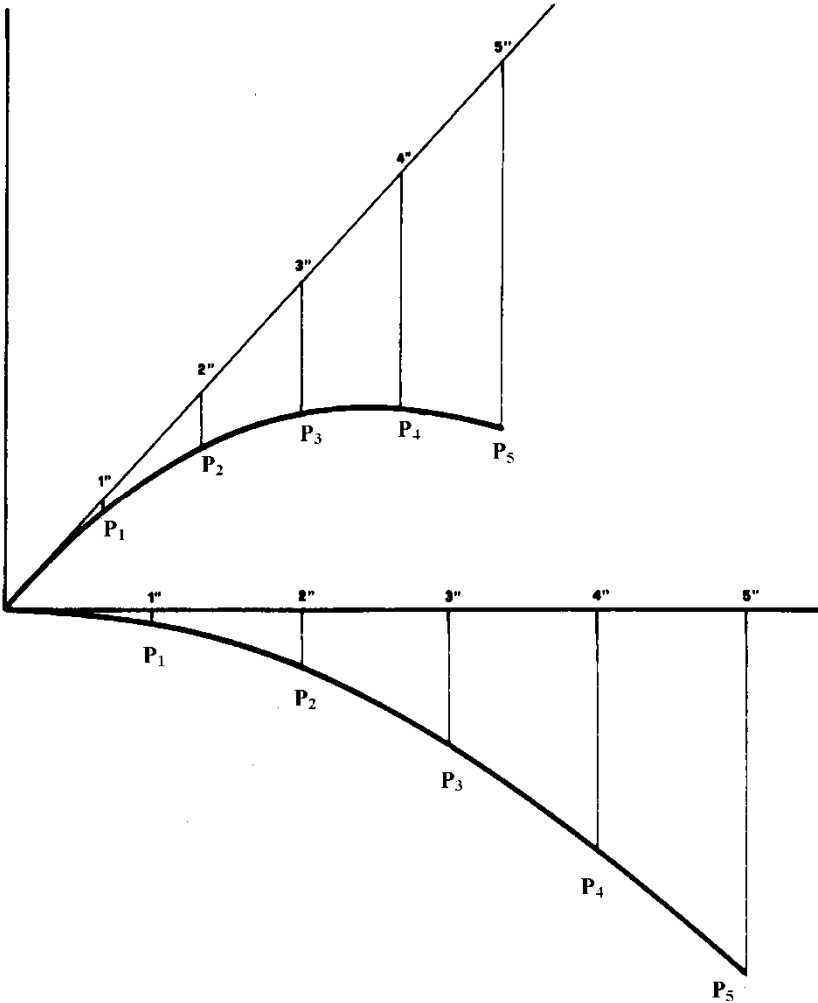



Fig. 1

Se però facciamo agire anche la forza di gravità, dalla formula

$$s = \frac{g}{2} t^2$$

ricaviamo che dopo un secondo il proiettile sarà caduto fino al punto P_1 , dopo due secondi fino al punto P_2 , dopo tre secondi fino al punto P_3 e così via, fino a che il proiettile toccherà il suolo. Collegando tutti i punti P_1, P_2, P_3 ,P_4 ....) si otterrà la traiettoria percorsa dal proiettile, che sarà una parabola con la concavità rivolta verso il basso, della quale le grandezze φ e V rappresentano i "parametri".

Dalla fisica, combinando i due movimenti, si trova che i punti della parabola sono individuati dalle seguenti formule:

La distanza x percorsa dal proiettile, in proiezione sulla linea orizzontale (ascissa), dopo il tempo t e data da

$$x = V_0 . t \cdot cos\varphi$$

mentre l'altezza y del proiettile dal piano (ordinata) è data da

$$y = x \cdot t \cdot sen\varphi - \frac{9{,}81}{2} t^2$$

y può essere calcolato direttamente da x con la formula

$$y = x \cdot tang\varphi - \frac{9{,}81 \cdot x^2}{2V^2 \cdot cos^2\varphi}$$

Sia ad esempio un proiettile con la velocità di 100 m/s sparato con angolo di 45°. Il valore di x per t = 1 s, sarà pari a 70,71 m (è la proiezione sul piano del percorso di 100 metri che è la diagonale di un quadrato con lato di m. 70,71)

I punti della parabola avranno i seguenti valori:

	1 s	**2 s**	**3 s**	**4 s**	**5 s**	**6 s**
x	70,7	141,4	212,1	282,8	353,5	424
y	65	121	167	204	230	247

E così via fino alla distanza di 1019 m a cui la parabola incontra nuovamente la linea del piano (gittata massima).

Dalla formula sopra riportata e da quella che descrive il moto uniforme è facile rilevare che esse sono indipendenti dalla forma e dal peso del proiettile; in altre parole, proiettili sparati nel vuoto con il medesimo angolo di proiezione e la medesima velocità, per-

corrono una identica traiettoria, indipendentemente dalla forma e dal peso.

Altre considerazioni (la cui esposizione esula dai limiti di questo scritto) portano a rilevare che:

- l'asse della parabola è perpendicolare e, passando attraverso il vertice della curva, la divide in due rami (ascendente e discendente) simmetrici;
- l'angolo di partenza φ è uguale all'angolo di caduta ω ;
- la velocità iniziale è uguale alla velocità di caduta;
- la gittata massima si ha per φ = 45°.

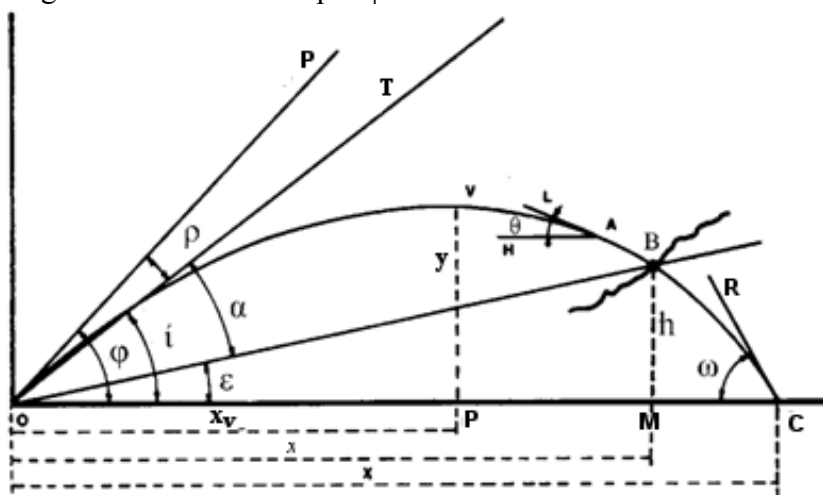



Fig. 2

Innanzitutto però illustriamo la nomenclatura essenziale della traiettoria, che ci servirà poi per tutto il resto dell'opera, facendo riferimento ai simboli di fig. 2

Nomenclatura della traiettoria

Traiettoria è la linea curva percorsa nello spazio dal centro di gravità del proiettile durante il suo movimento.

O Origine della traiettoria. Centro della bocca dell'arma (volata) al momento dello sparo.

OC Orizzonte del pezzo. Il piano orizzontale passante per O

OP Linea di proiezione. È il prolungamento dell'asse della canna al momento in cui il proiettile abbandona l'arma; in termini geometrici è la tangente all'origine della traiettoria.

OT Linea di tiro. E' il prolungamento dell'asse della canna puntata, prima dello sparo. Per effetto dello “errore di partenza” diventa **OP**; nelle formule generali si considerano eguali.

OB Linea di sito di un punto B della traiettoria è la retta che congiunge l'origine della traiettoria col punto stesso; è cioè la linea retta che congiunge la volata dell'arma con il bersaglio.

V Vertice della traiettoria, cioè il punto più alto che la divide in RAMO ASCENDENTE (**OV**) e in RAMO DISCENDENTE (**VC**).

C Punta di caduta, corrispondente all'intersezione del ramo discendente della traiettoria con la linea di orizzonte dell'arma.

B Punto di arrivo, corrispondente all'intersezione della traiettoria con la linea di sito.

X Ascissa di un punto B (es.**OM**), è la distanza del punto B dall'origine misurata sull'asse orizzontale.

H Ordinata di un punto B (es.**BM**), è l'altezza del punto B rispetto all'orizzonte.

X Gittata **OC**, è la distanza tra l'origine e punto di caduta.

Y Altezza della traiettoria (o Ordinata massima o Ordinata del vertice), è il punto della traiettoria più alto sulla linea dell'orizzonte.

$\mathbf{x_0}$ Ascissa del vertice.

Φ Angolo di proiezione **POC**, compreso tra linea di proiezione e orizzonte.

P Angolo di rilevamento **POT**, è l'angolo formato dalla linea di proiezione con la linea di tiro.

POB Angolo di partenza.

ί Angolo di tiro **TOC**, che la linea di tiro fa con l'orizzonte.

α Angolo di elevazione **TOB**; è l'angolo formato dalla linea di tiro con la linea di sito e cioè il cd. ALZO.

ε Angolo di sito **BOC**, che la linea di sito fa con l'orizzonte.

ω Angolo di caduta **RCO**, è l'angolo acuto formato dalla tangente alla traiettoria nel punto di caduta.

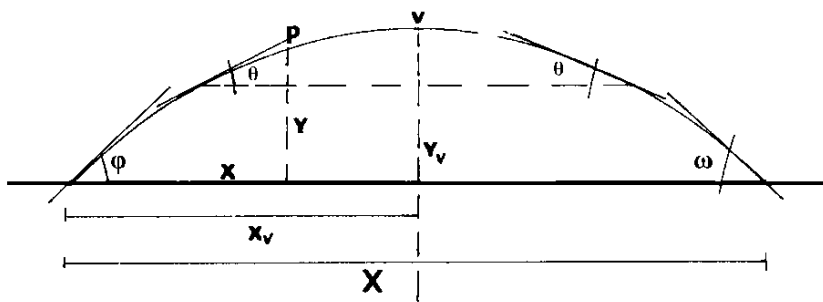
θ Inclinazione della traiettoria **LAH**, è l'angolo acuto formato dalla tangente in un punto della traiettoria con l'oriz-

zonte. All'origine coincide con l'angolo di proiezione. Al vertice è nulla. Nel ramo discendente è negativa.

LBO Angolo di arrivo; è l'angolo formato dalla tangente alla traiettoria con la linea di sito nel punto di arrivo.

FORMULARIO

I valori numerici che descrivono i vari elementi della traiettoria sono collegati tra di loro da semplici relazioni matematiche così che, noti alcuni di essi, possono ricavarsi agevolmente gli altri.

Per meglio comprendere le formule relative anticiperemo la esemplificazione pratica della traiettoria di un giavellotto, con tutti i dati numerici. Essi ben poco si discostano dalla realtà se consideriamo che la traiettoria atmosferica tanto più si avvicina a quella nel vuoto, quanto più è pesante il proiettile e più è bassa la velocità iniziale; ad esempio nel caso dei mortai la differenza tra gittata reale e gittata nel vuoto è soltanto del 10% e la differenza era ancora minore per le artiglierie antiche.

Sia ora la traiettoria raffigurata qui sopra ed in cui:

φ - angolo di partenza

ω - angolo di caduta

x_v - ascissa al vertice

y_v - ordinata al vertice

x - ascissa di un punto qualunque P della traiettoria

y - ordinata di un punto qualunque P della traiettoria

X - gittata

θ - angolo tra la tangente nel punto P e l'ascissa positiva

T - tempo di volo totale

e calcoliamo i valori relativi al lancio di un giavellotto con la velocità iniziale di 30 m/s e con angolo di partenza uguale a 40°.

Essi saranno:

$\varphi = 40°$
$\omega = 40°$
$y_v = 18{,}955$ m
$x_v = 45{,}174$
$X = 90{,}349$
$T = 3',93$
$V_v = 22{,}98$ m/s

e dopo 1,5 sec. i valori nel punto P di coordinate x,y saranno:
$x = 34.\ 47$ m. $V_x = 29{,}4239$ m/s
$y = 17{,}89$ m. $V_y = 4{,}56$ m/s
$\theta = 11°14'44''$

Ed ecco ora le formule in base alle quali, noti alcuni elementi della traiettoria, si può risalire ad altri elementi ignoti.

VALORI IN UN PUNTO QUALUNQUE
DELLA TRAIETTORIA

x : ascissa di un punto qualunque

$$x = V_0 \cdot t \cdot \cos\varphi$$

e quindi, nell'esempio dato, dopo 1, 5 secondi si avrà

$$x = 30 \cdot 1{,}5 \cdot cos\ 40° = 34{,}47 \text{ m}$$

Oppure

$$x = \frac{X}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4y}{X \cdot tang\varphi}}\right)$$

in cui si avrà il segno – nel ramo ascendente e il segno + del ramo discendente.
Esempio

$$x = \frac{90{,}35}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 17{,}9}{90{,}35 \cdot tang 40°}}\right) = 34{,}47 \text{ m}$$

y : ordinata di un punto qualunque della traiettoria

$$y = V_0 \cdot t \cdot sen\varphi - \frac{y}{2}t^2$$

esempio

$$y = 30 \cdot 1{,}5 \cdot sen40° - \frac{9{,}81}{2} \cdot 1{,}5^2 = 17{,}889 \text{ m}$$

Oppure

$$y = x \cdot tang\varphi - \frac{y^2}{2V^2 \cdot cos^2\varphi}$$

Esempio

$y = 34{,}47 \cdot tang40° - \frac{9{,}81 \cdot 34{,}27^2}{2 \cdot 30^2 \cdot cos^2 40°} = 17{,}88$ m

Oppure

$$y = x \cdot tang\varphi \cdot \left(1 - \frac{x}{X}\right)$$

esempio

$$y = 34{,}47 \cdot tang40° \left(1 - \frac{34{,}47}{90{,}35}\right) = 17{,}88$$

Oppure

$$y = \frac{x}{X}(X - x) \cdot tang\varphi$$

esempio

$$y = \frac{34{,}47}{90{,}35}(90{,}35 - 34{,}47) \cdot tang\ 40° = 17{,}88 \text{ m}$$

Oppure

$$y = \frac{g}{2} t \cdot (T - t)$$

esempio

$$y = \frac{9{,}81}{2} \cdot 1{,}5 \cdot (3{,}93 - 1{,}5) = 17{,}88 \text{ m}$$

θ : **angolo fra la tangente nel punto considerato e l'asse delle ascisse** (< 90° nel ramo ascendente, > 90* nel ramo discendente).

$$tang\theta = tang\varphi \cdot \frac{g \cdot t}{V_0 \cdot cos\varphi}$$

esempio

$$tang\theta = 0{,}839 \cdot \frac{9{,}81 \cdot 1{,}5}{30 \cdot cos40°} = 0{,}198;\ (\theta = 11°\ 14')$$

Oppure

$$tang\theta = tang\varphi - \frac{g \cdot x}{V^2 \cdot cos^2\varphi}$$

esempio

$$tang\theta = 0{,}839 - \frac{9{,}81 \cdot 34{,}47}{30^2 \cdot 0{,}776^2} = 0{,}198$$

Oppure

$$tang\theta = tang\varphi \left(1 - \frac{2x}{X}\right)$$

esempio

$$tang\theta = 0{,}839 \left(1 - \frac{2 \cdot 34{,}47}{90{,}349}\right) = 0{,}198$$

t : tempo di volo fino ad un punto qualunque della traiettoria

$$t = \frac{x}{V_o \cdot cos\varphi}$$

esempio

$$t = \frac{34{,}47}{30 \cdot cos40°} = 1'', 5$$

Oppure

$$t = T\left(1 - \frac{x}{y} cot\varphi\right)$$

esempio

$$t = 3{,}93\left(1\text{-}\frac{17{,}889}{34{,}47}\cot 40°\right) = 1, 5$$

v_x e v_y : componenti della velocità v in un punto qualunque

Per x

$$v_x = V_0 \cdot cos\varphi$$

esempio

$$v_x = 30 \cdot cos40° = 22{,}98 \text{ m/s}$$

e per y

$$v_y = V_0 - sen\varphi - gt$$

esempio

$$v_y = 30 \cdot sen40° - 9{,}81 \cdot 1{,}5 = 4{,}56 \text{ m/s}$$

VALORI AL VERTICE DELLA TRAIETTORIA

Per x_v

$$x_v = \frac{V_0^2\ sen2\varphi}{2g}$$

esempio

$$x_v = \frac{30^2 \cdot sen80°}{2 \cdot 9{,}81} = 45{,}174 \text{ m}$$

Oppure

$$x_v = \frac{X}{2} = 45,19 \text{ m}$$

Per y_v

$$y_v = \frac{V_0^2 . sen^2\varphi}{2g}$$

esempio

$$y_v = \frac{30^2 \cdot sen^2 40°}{2 \cdot 9{,}81} = 18{,}95\ m$$

oppure

$$y_v = \frac{X}{4} tang\varphi$$

esempio

$$y_v = \frac{90{,}35}{4} tang 40° = 18{,}95 \text{ m}$$

oppure

$$y_v = \frac{x_v}{2} tang\varphi$$

esempio

$$y_v = \frac{45{,}174}{2} tang 40° = 18{,}95 \text{ m}$$

oppure

$$y_v = \frac{g}{8} T^2 = 1{,}23 \cdot T^2$$

É la famosa **formula di Haupt** che dà una buona approssimazione anche per la traiettoria nell’aria.

Esempio

$$y_v = \frac{9.81}{8} \cdot 3{,}94^2 = 19 \text{ m}$$

Per t_v

$$t_v = \frac{V_0 - sen\varphi}{g}$$

esempio

$$t_v = \frac{30 \cdot sen40°}{9{,}81} = 1{,}96 \text{ sec}$$

oppure

$$t_v = \frac{x_v}{V_0 \cdot cos\varphi}$$

esempio

$$t_v = \frac{45{,}19}{30 \cdot cos40°} = 1{,}96 \text{ sec}$$

oppure

$$t_v = \frac{T}{2}$$

Per v_v

$$v_v = V_0 \cdot cos\varphi$$

esempio

$$v_v = 30 \cdot cos40° = 22{,}98 \text{ m/s}$$

oppure

$$v_v = \frac{X}{T}$$

esempio

$$v_v = \frac{90{,}349}{3{,}93} = 22{,}98 \text{ m/s}$$

VALORI ALL'ORIGINE DELLA TRAIETTORIA

Per V_0

$$V_0 = \frac{x}{cos\varphi} \cdot \sqrt{\frac{g}{2(y - x \cdot tang\varphi)}}$$

esempio

$$V_0 = \frac{34{,}47}{\cos 40°} \cdot \sqrt{\frac{9{,}81}{2(17{,}89 - 34{,}47 \cdot tang40°)}} = 30 \text{ m/s}$$

Per φ

$$tang\varphi = \frac{V_0^2}{g \cdot x} \pm \sqrt{\frac{V_0^4}{g^2 x^2} - \left(1 + \frac{2V_0^2 \cdot y}{g \cdot x^2}\right)}$$

esempio

$$tang\varphi = \frac{30^2}{9{,}81 \cdot 34{,}47} - \sqrt{\frac{30^4}{9{,}81^2 \cdot 34{,}47^2}} - \left(1 + \frac{2 \cdot 30^2 \cdot 17{,}89}{9{,}81 \cdot 34{,}47^2}\right) =$$

$$= 0{,}839;\ \varphi = 40°$$

oppure

$$sen2\varphi = \frac{X}{X_{max}}$$

esempio

$$sen2\varphi = \frac{90{,}394}{91{,}74} = 0{,}98;\ \varphi = 40°$$

Questa formula consente di ricavare l'angolo φ per una determinata gittata X, conoscendo la gittata massima del proiettile.

VALORI NEL PUNTO DI CADUTA

Per X

$$X = \frac{V_0^2 \cdot sen2\varphi}{g}$$

esempio

$$X = \frac{30^2 \cdot sen\ 80°}{9{,}81} = 90{,}34 \text{ m}$$

oppure

$$X = V_0 \cdot cos\varphi \cdot T$$

esempio

$$X = 30 \cdot cos\ 40° \cdot 3{,}93 = 90{,}3$$

oppure

$$X = \frac{g}{2} \cdot T^2 \cdot cotg\ \varphi$$

esempio

$$X = \frac{9{,}81}{2} \cdot 3{,}93^2 \cdot cotg\ 40° = 90{,}3 \text{ m}$$

oppure

$$X = 2 \cdot x_v$$

esempio

$$X = 2 \cdot 45{,}17 = 90{,}34 \text{ m}$$

Per T

$$T = \frac{2V_0 \cdot sen\varphi}{g}$$

Esempio

$$T = \frac{2 \cdot 30 \cdot sen\ 40°}{9{,}81} = 3{,}93 \text{ sec}$$

Oppure

$$T = \sqrt{\frac{2}{g} X \cdot tang\varphi} = 0{,}452 \cdot \sqrt{X \cdot tang\ \varphi}$$

Esempio

$$T = 0{,}452 \cdot \sqrt{90{,}3 \cdot tang\ 40°} = 3{,}93 \text{ sec}$$

VALORI MASSIMI DELLA TRAIETTORIA

$$X_{max} = \frac{V_0^2}{g}\ quando\ \varphi = 45°$$

esempio

$$X_{max} = \frac{30^2}{9{,}81} = 91{,}74\ m$$

$$H_{max} = \frac{V_0^2}{2g}\ quando\ \varphi = 90°$$

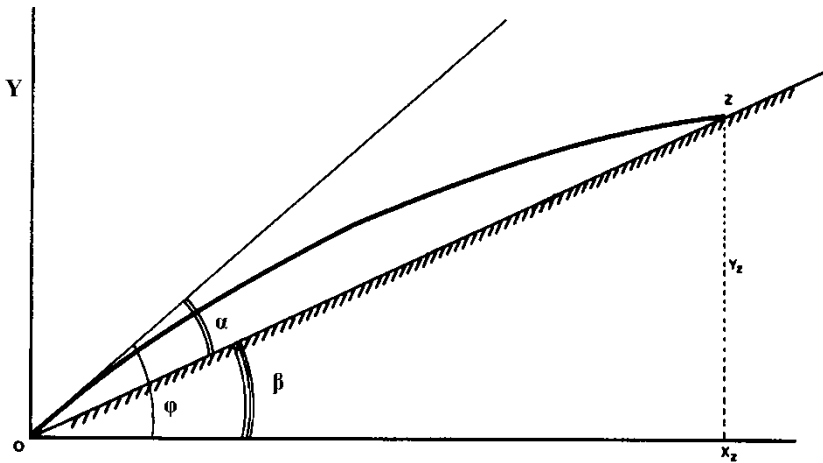
e cioè quando il proiettile viene sparato verticalmente verso l’alto; esempio

$$H_{max} = \frac{30^2}{2 \cdot 9{,}81} = 45{,}87\ m$$

Invece l’ordinata massima è uguale alla metà di H_{max} e quindi

$$Y_{max} = \frac{V_0^2}{4 \cdot g} = 22{,}9\ m$$

Le formule esposte valgono per il caso in cui il bersaglio (o punto di caduta del proiettile) si trovi sulla linea dell'orizzonte OC dell'arma. Se si presuppone invece che il terreno sia in uniforme salita o discesa nella direzione del tiro, che il terreno formi con l'orizzonte del pezzo un determinato angolo β, saranno naturalmente diversi sia la gittata che il tempo di volo.

Per non complicare eccessivamente i calcoli, limitiamoci all'ipotesi in cui il piano di campagna OZ passi per l'origine O come in figura.

Le formule applicabili di uso più comune saranno le seguenti:

Tempo di volo fino al punto Z

$$T_z = \frac{2V_0 sen\alpha}{g \cdot cos\beta}$$

In cui $\alpha = \varphi \pm \beta$

β avrà valore positivo se al di sopra del piano, valore negativo se al di sotto; assumendo ad esempio β = 20°

$$T_z = \frac{2 \cdot 30 \cdot sen(40 - 20°}{9,81 \cdot cos\ 20°} = 2,22\ \text{s}$$

Proiezione orizzontale della gittata O-X

$$X_z = \frac{2V_0^2 \cdot \cos\varphi \cdot \mathrm{sen}\alpha}{g \cdot \cos\beta}$$

esempio

$$X_z = \frac{2 \cdot 30^2 \cdot \cos 40° \cdot sen\ 20°}{9.81 \cdot \cos 20°} = 51 \text{ m}$$

Gittata effettiva O-Z

$$OZ = \frac{x_z}{cos\beta}$$

esempio

$$OZ = \frac{51{,}16}{\cos 20°} = 54{,}44$$

oppure

$$OZ = \frac{2\,V_0^2\ \cdot cos\varphi \cdot sen\alpha}{gcos^2\,\beta}$$

esempio

$$OZ = \frac{2 \cdot 30^2 \cdot \cos 40° \cdot sen\ 20°}{9{,}81 \cdot \cos 20°} = 54{,}44 \text{ m}$$

Gittata massima OZ

Essa si ottiene quando la linea di proiezione è la bisettrice dell'angolo YOZ, cioè quando

$$\varphi = 45 \pm \frac{\beta}{2}$$

Nell'esempio raffigurato si avrebbe

$$\varphi = 45° + \frac{20^o}{2} = 55 \text{ e quindi}$$

$$OZ_{max} = \frac{2 \cdot 30^2 \cdot \cos 55° \cdot sen\ 20°}{9{,}81 \cdot cos^2\ 20°} = 58{,}2 \text{ m}$$

Gittata massima in proiezione OX

$$OX_{max} = \frac{V_0^2}{g \cdot (1 + sen\beta)}$$

esempio

$$OX_{max} = \frac{30^2}{9{,}81(1 + sen\ 20°)} = 68{,}36\ \text{m}$$

A conclusione di questa parte riporteremo un esempio di applicazione pratica delle formule tratto dall'opera dello Schmidt[1].

Un uomo in grado di lanciare in pianura una pietra a 68 m. di distanza, si trova su di un argine avente l'inclinazione di 26° ed a 60 metri di altezza sopra un sottostante lago può riuscire a lanciare un sasso nel lago?

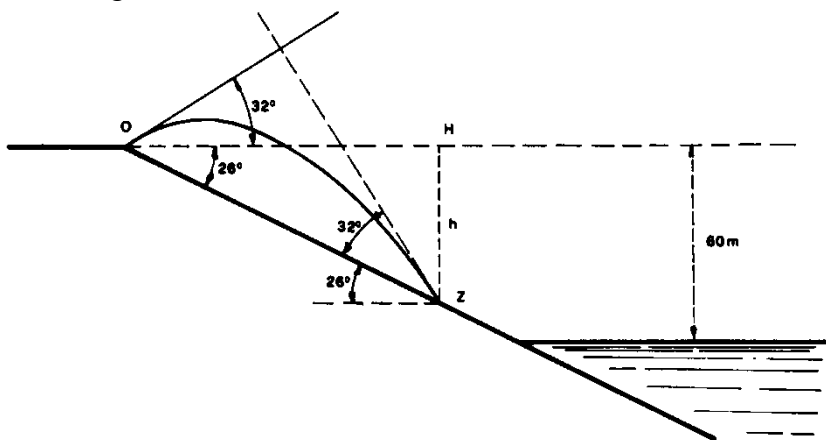



Fig. 5

Dal fatto che l'uomo riesce a lanciare la pietra a 68 metri ricaviamo che egli imprime alla pietra una velocità

$$V_0 = \sqrt{9{,}81 \cdot 68} = 25{,}82\ \text{m/s}$$

La gittata massima sarà ottenuta con un lancio angolato di

$$\varphi = 45° - \frac{26°}{2} = 32°$$

e sarà pari quindi a

$$OZ = \frac{2V_0^2 \cdot\ cos\ 32° \cdot sen(32° + 26°)}{9{,}81 \cdot cos^2\ 26°} = 121\ \text{m}$$

Risolvendo il triangolo rettangolo OHZ si ha:

$$h = 121\ .\ \text{sen}\ 26° = 53\ \text{m}$$

il che significa che il sasso non potrà raggiungere il lago sebbene sia stato lanciato a ben 53 metri oltre la distanza raggiungibile in piano.

[1] Robert Schmidt, *Praktische Ballistik*, Berlin 1957.

Se la pietra fosse stata lanciata orizzontalmente (e questo è il problema fondamentale delle bombe d'aereo) essa avrebbe raggiunto una distanza pari a

$$OZ = \frac{2V_0^2 \cdot sen\,26°}{g \cdot cos^2\,26°} = 73{,}7 \text{ m}$$

Il vertice della traiettoria si innalza rispetto al piano di

$$y = \frac{V_0^2 \cdot sen^2 32°}{2 \cdot 9{,}81} = 9{,}56 \text{ m}$$

Le componenti V e V della velocità nel punto di impatto saranno:

$$V_x = V_0 \cdot cos\varphi = 25{,}8 \cdot \cos 32° = 21{,}92\, m/s$$

$$V_y = \sqrt{2g \cdot (y_g - y)} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 - 65{,}55} = 35{,}04\, m/s$$

in quanto è uguale alla velocità che il corpo avrebbe assunto cadendo dal vertice della traiettoria perpendicolarmente fino al piano di Z.

La velocità totale di impatto è la somma vettoriale delle due componenti e cioè:

$$V = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{480{,}5 + 1228} = 41{,}33\, m/s$$

Se si volesse calcolare l'angolo di impatto col terreno, si dovrebbe innanzitutto calcolare l'angolo ω di impatto con il piano orizzontale passante per Z dato che

$$tang\omega = \frac{V_y}{V_x} = \frac{35{,}84}{21{,}92} = 1{,}6\,;\ \omega = 58°$$

L'angolo di impatto con il terreno sarà quindi

58° - 26° = 32°

da cui si constata come proprietà generale della traiettoria di prima arcata nel vuoto che la tangente all'origine è perpendicolare alla tangente al punto di caduta e che l'angolo di impatto è uguale all'angolo di tiro.

Traiettoria tesa è quella in cui le ordinate, rispetto alla linea di sito, sono molto piccole.

Traiettoria radente è quella che segue l'andamento del terreno in pendenza.

LA ROTAZIONE DELLA TRAIETTORIA

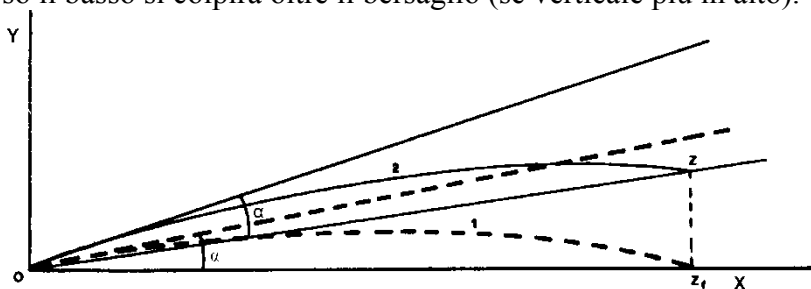
Problema del tutto analogo a quello del tiro sul terreno inclinato è quello del tiro verso bersagli che si trovano al di sopra o al di sotto della linea di orizzonte dell'arma; in questi casi, in teoria, l'angolo dovrebbe essere calcolato tenendo conto sia della distanza del bersaglio che della sua altezza rispetto all'arma; in pratica però con armi a tiro teso è sufficiente mirare al bersaglio con l'alzo previsto per la distanza OZ, come se il bersaglio Z fosse allo stesso livello dell'arma. Ci si comporta cioè come se la traiettoria fosse un corpo rigido e potesse ruotare attorno alla sua origine senza deformazioni (fig.6), cioè come se la traiettoria 1 fosse identica alla traiettoria 2, nonostante il diverso angolo di tiro, come se le formule seguenti fossero equivalenti e cioè:

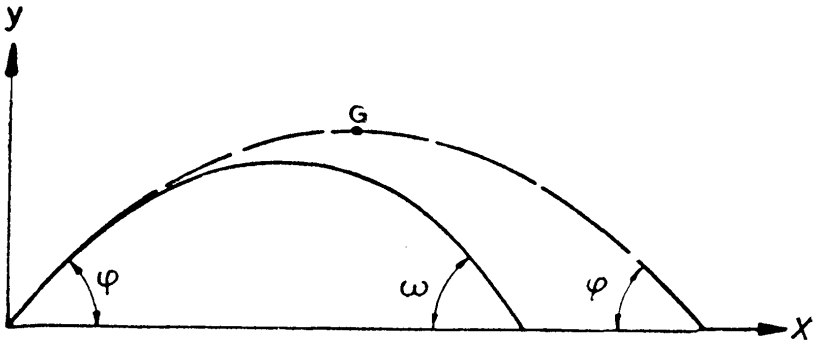
$$\frac{2V_0^2 \cdot sen\alpha \cdot cos(\alpha+\beta)}{g \cdot cos^2\beta} = \frac{2V_0^2 \cdot sen\alpha \cdot cos\alpha}{g}$$

ovverosia, semplificando, come se

$$\frac{cos(\alpha+\beta)}{cos^2\beta}$$

L'equivalenza delle due formule si realizza con un errore trascurabile nel caso che l'inclinazione β del terreno sia piccola (inferiore a 10°).

In linea di principio tirando verso l'alto con il sistema della rotazione della traiettoria, il proiettile cadrà prima del bersaglio (immaginando un bersaglio verticale si colpirà più in basso); tirando verso il basso si colpirà oltre il bersaglio (se verticale più in alto).

LA TRAIETTORIA NELL'ARIA

Per effetto della resistenza che l'aria oppone al proiettile questo subisce un rallentamento che non è lineare, e quindi facilmente calcolabile, ma che varia in ogni istante in relazione alla perdita di velocità subita nell'istante precedente, in relazione alla diversa resistenza dell'aria, variabile con il variare della velocità del proiettile, in relazione alle variazioni della resistenza dell'aria per la variazione dell'altitudine raggiunta dal proiettile e relative variazioni di temperatura, umidità e pressione.
Si comprende perciò come il problema matematico si complichi enormemente e possa venir affrontato solo con il calcolo integrale. È vero che si possono cercare dei metodi semplificati, in cui, ad esempio, non si pretende di calcolare le variazioni in modo continuo, ma si suppone che certe variabili restino costanti per un piccolo tratto di traiettoria, ma la precisione ne soffre. Va detto che con alcune semplificazioni i balistici del passato del passato hanno ottenuto risultati adeguati alle loro necessità. I proiettili delle artiglierie erano lenti e per le armi leggere non è necessario, di norma, calcolare lunghe gittate
Ci limitiamo quindi ad indicare, in via generale il modo in cui la traiettoria nell'aria (tracciata con linea continua) differisce da quella nel vuoto (tratteggiata).

- L'angolo di caduta è sempre maggiore dell'angolo di partenza $\omega > \varphi$.
- La velocità del proiettile del ramo ascendente è sempre maggiore della velocità del proiettile alla stessa altezza γ del ramo discendente.
- Il vertice della traiettoria è più vicino al punto di caduta che non al punto di partenza.
- Il tempo di volo sul ramo ascendente è minore del tempo di volo sul ramo discendente.
- I valori della traiettoria, per gittata, vertice, ascissa del vertice, sono sempre minori di quelli per la traiettoria nel vuoto.
- Il punto di minor velocità del proiettile è situato non al vertice, ma in un punto del ramo discendente. Se la traiettoria ha un piccolo angolo di partenza, il punto di minor velocità può essere al di sotto della linea di orizzonte.
- Il punto di maggior curvatura si trova sul ramo discendente fra il vertice e il punto di minor velocità.
- La componente orizzontale della velocità v_x diminuisce in modo continuo lungo la traiettoria.
- La traiettoria ha un certo punto al di sotto della linea di orizzonte in cui la caduta diventa verticale (può essere molto lontano; anche il doppio della gittata massima).
- La traiettoria di un proiettile leggero ad alta velocità diverge dalla traiettoria nel vuoto molto di più di un proiettile ad alta densità sezionale e bassa velocità.

LA RESISTENZA DELL'ARIA

Quando il moto del proiettile non avviene nel vuoto ma nell'aria, assume importanza fondamentale la forza ritardatrice dovuta alla resistenza del mezzo. Tale elemento è il principale fattore di diversità della traiettoria nei due casi. Un proiettile cal. 9 Para con V_0 = 330 m/s, che nel vuoto, secondo la formula vista, avrebbe una gittata massima di 11.100 metri, nell'aria ha una gittata massima di circa 1.500 metri. Un proiettile da fucile con V_0 = 700 m/s è assoggettato, per effetto della resistenza dell'aria, ad una forza ritardatrice che è circa 40 volte maggiore di quella di gravità e la velocità finale, che nel vuoto sarebbe eguale a quella iniziale, viene ridotta a circa 1/6 di quella iniziale.

La resistenza che il mezzo fluido, sia esso liquido od aeriforme, offre al moto del corpo, è proporzionale alla massa di fluido spostata nell'unità di tempo e viene rappresentata dalla formula fondamentale di Newton

$$R = A \cdot V^2 \cdot m \qquad \text{(Formula 1)}$$

in cui -A- è l'area in m^2 della sezione normale al movimento del corpo, -V- è la velocità in m/s. relativa al fluido in cui il corpo è immerso) ed -m- è un coefficiente sperimentale che dipende dalla densità del mezzo, dalla forma e dalla superficie del corpo.

A titolo di curiosità si riportano i valori di -*m*- determinati all'inizio del secolo da Eiffel mediante esperienze compiute sull'omonima torre:

Forma	m
Superficie piana perpendicolare al moto	0,08
Corpo cilindrico, lunghezza = 1x raggio	0,071
Corpo cilindrico, lunghezza = 2x raggio	0,069
Corpo cilindrico, lunghezza = 3x raggio	0,051
Cono di 60°, punta in avanti	0,015
Emisfero convesso	0,017
Emisfero concavo	0,084

Questi sono i valori riferiti all'aria, che vanno moltiplicati per circa 800 se riferiti all'acqua (800 è il rapporto medio fra la densità dell'acqua e quella dell'aria alla temperatura ordinaria).

La formula indicata è però puramente orientativa e valida per velocità medie; nel caso di velocità basse, la resistenza varia con tasso inferiore al quadrato della velocità, mentre per velocità elevate la resistenza varia con tasso assai superiore.

Il calcolo della resistenza sui proiettili è reso poi ancor più complicato dal fatto che il proiettile nel suo volo è soggetto a movimenti oscillanti e di precessione che modificano in ogni istante la sezione opposta al fluido. Per ottenere valori precisi si dovrebbe quindi ricorrere alla ricerca sperimentale della legge di resistenza di ogni singolo proiettile (ed in effetti questo è proprio ciò che fa ogni esercito per le armi in sua dotazione, redigendo apposite tavole di tiro).

Per calcoli di una certa approssimazione, si sono però studiate delle leggi generali di resistenza dell'aria, più che sufficienti per gli scopi pratici: dopo aver tracciato sperimentalmente le curve della resistenza dell'aria riferite a diversi tipi di proiettile, si è ricavata una curva intermedia teorica o riferita ad un "proiettile tipo"; da questa, con l'introduzione di un coefficiente che deriva dal rapporto tra la forma del proiettile studiato rispetto alla forma del proiettile tipo, si può risalire con sufficiente approssimazione ai valori reali.

Si è cercato di rendere le variazioni della resistenza con equazioni analitiche che possono essere agevolmente inserite in programmi di calcolo.

Ancora usatissima è la formula di Siacci il quale ha esposto la sua curva di resistenza secondo l'espressione analitica

$$f(v) = 0{,}2002 \cdot v - 48{,}05 + \sqrt{(0{,}1648v - 47{,}95)^2 + 9{,}6} +$$

$$+ \frac{0{,}0442v(v - 300)}{371 + (v/200)^{10}} \ m/s^2$$

Nei calcoli balistici il risultato viene poi ulteriormente diviso per 100. Per opportuno riscontro si tenga presente che i risultati da ottenere sono i seguenti:

V	Vf(v	V	Vf(v)
100	0,0120	700	1,5962
200	0,0492	800	1,9607
300	0,1545	900	2,3255
400	0,5153	1000	2,6904
500	0,8708	1100	3,0554
600	1,2324	1200	3,4203

Essa venne migliorata negli Stati Uniti nel 1924 ed è:

$$log \frac{f(v)}{v^2} = log \left[0{,}255 + \frac{\sqrt[4]{1 + 0{,}0392 \cdot \left(\frac{v - 330}{500}\right)^8}}{22226 + 494 \cdot \left(\frac{v - 330}{50}\right)^2} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot\, arctg \left(\frac{v - 330}{50}\right) \right] + \frac{v - 600}{1000}$$

Una delle formule più usate e che, nonostante sia stata elaborata un secolo fa, è ancora del tutto valida, è quella del balistico russo Majevski il quale ha suddiviso la curva in tratti a seconda della velocità del proiettile:

$$R = A \cdot i \frac{d}{d_0} \cdot m \cdot v^n \qquad \text{(Formula 2)}$$

in cui:

R	è la resistenza, espressa in kg
A	è la sezione del proiettile in mq.
i	è un fattore dovuto alla forma che varia, come vedremo, da 0,45 a 2,30
v	è la velocità del proietto in m/s
m - n	sono coefficienti che variano con la velocità e vengono elencati nella seguente tabella:

I coeff. m ed n assumono i seguenti valori in relazione alla velocità:

Velocità m/s	m	n
0 - 240	$1{,}400 \cdot 10^{-2}$	2
240 - 295	$5{,}834 \cdot 10^{-5}$	3
295 - 375	$6{,}709 \cdot 10^{-10}$	5
375 -419	$9{,}404 \cdot 10^{-5}$	3
419 - 550	$3{,}940 \cdot 10^{-2}$	2
550 - 800	$2{,}616 \cdot 10^{-1}$	1,7
800 - 1000	$7{,}130 \cdot 10^{-1}$	1,55

Il valore $\frac{\partial}{\partial_0}$ sta ad indicare il rapporto fra al densità dell'aria attraversata dal proiettile e la densità "base" pari a kg 1,225 per mc.; perciò in genere è eguale ad uno.

Ponendo in via generale:

$$mv^n = f(v)$$

in cui $f(v)$ sta ad indicare la funzione della resistenza in relazione alla velocità, secondo la legge di Majevski o altre analoghe, e ricordando che:

$$A = \frac{C^2}{4}\pi$$

dove C è il calibro in metri, si ottiene la formula di pratica applicazione

$$R = \frac{C^2}{4} \cdot \pi \cdot i \cdot f(v) \quad \text{(Formula 3)}$$

La prima parte del polinomio di destra rappresenta il cosiddetto "coefficiente balistico" del proiettile e cioè

$$C_b = \frac{C^2}{4} \cdot i \cdot \pi$$

così che si può scrivere

$$R = C_b \cdot f(v) \text{ (Formula 4)}$$

Si badi che il coff. balistico varia a seconda della legge di renitenza utilizzata e che spesso si inserisce il peso del proiettile, visto che poi il cb serve per calcolare la ritardazione. Ad es.

Siacci	Krupp	Americana
$cb = \frac{1000 \cdot i \cdot (2R)^2}{1{,}206 \cdot P}$	$cb = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot g \cdot i}{1{,}22 \cdot P}$	$cb = \frac{1000 \cdot (2R)^2 \cdot i}{1{,}25 \cdot P}$
Calibro 2R in m; peso P in kg	R in cm , P in kg	R in mm, P in kg

I valori della legge di Krupp-Eberhard sono stati tabulati da Sängewald, ma nulla vieta di adottare formule analitiche per i vari tratti

Nota la resistenza opposta dall'aria al proiettile, potrà calcolarsi la ritardazione (cioè l'accelerazione negativa) subita dal proiettile in base alla formula:

$$Ritardazione = \frac{Resistenza}{Massa} = \frac{R}{M}$$

e siccome

$$M = \frac{Peso}{Acc.\,di\ gravità}$$

si avrà

$$Rit. = \frac{R \cdot gravità}{Peso} = \frac{R \cdot g}{P} \quad \text{(Formula 5)}$$

Le formule (4) e (5) possono naturalmente fondersi assieme ottenendosi

$$Rit = \frac{C_b \cdot f(v) \cdot 9{,}81}{P} \quad \text{(Formula 6)}$$

in cui P è espresso in chilogrammi.

In tempi più recenti, in luogo del concetto di coefficiente balistico si è introdotto il concetto di "coefficiente aerodinamico" (o coefficiente di resistenza) "Cx", quantità adimensionale che esprime il comportamento del proiettile nell'aria, variabile a seconda dei fattori già ricordati, e in funzione della velocità, indicata non in m/s, ma in rapporto alla velocità del suono (Mach). Cx non è costante in quanto dipende anche dalla viscosità dell'aria e quindi varia continuamente nel corso della traiettoria. Per ogni proiettile, Cx è infatti funzione di due fattori adimensionali:

- il numero di Mach, cioè il rapporto tra velocità del proiettile e velocità del suono;
- il numero di Reynolds, cioè il rapporto tra velocità del proiettile e la "viscosità cinematica" del fluido, moltiplicato per una grandezza che dipende dalla lunghezza del proiettile.

Chiaramente, il calcolo esatto del Cx è estremamente complesso e diviene tanto più critico quanto più è piccolo il proiettile. Usando il coefficiente Cx, che per i proiettili varia da 0,1 a 0,5 (si ricorda a

titolo di curiosità che un'auto di solito ha Cx = 0,4 e che la migliore auto sperimentale arriva a Cx = 0,22) si avrà

$$R = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \delta \cdot v^2 \cdot A \quad \text{(Formula 7)}$$

in cui A è la sezione del proiettile in cm^2 ;

δ la densità dell'aria in kg/m^3 ;

v la velocità del proiettile in "Mach".

Premesse le formule matematiche essenziali, vediamo ora di chiarire meglio i valori che sono stati usati e, in primo luogo, *f(v)*, di cui già abbiamo dato l'esempio del Majevski.

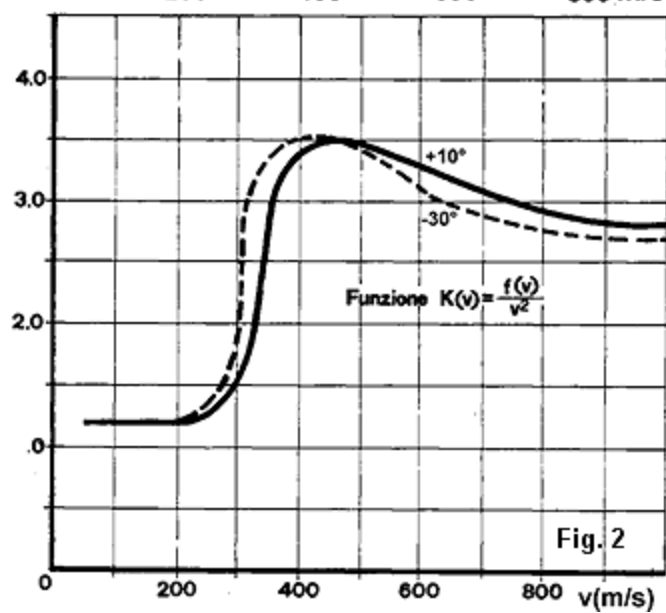
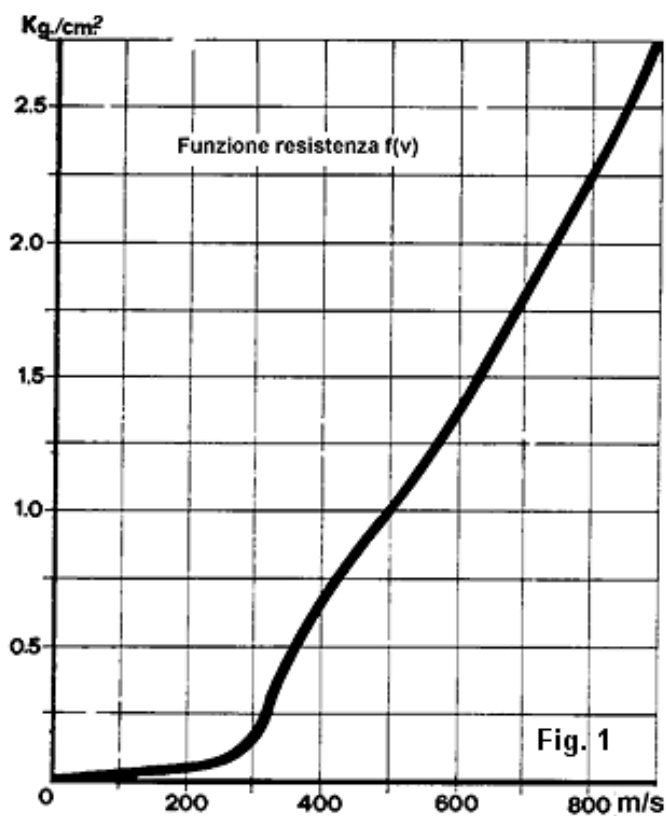
Gli studi per stabilire una legge generale di resistenza dei proiettili (vale a dire in quale modo la resistenza varia con il variare della velocità), sono alquanto antichi: tra il 1872 ed il 1895 la legge di Majevski-Sabuski, nel 1874 quella di Chapel, nel 1888 quella della commissione Gâvre, nel 1894 quella di Vallier, nel 1896 quella dell'italiano Siacci. Ad esse seguiranno quella di Schève (1907), quella di Eberhard-Krupp (1912), di Dupuis-Garnier (1929) e quella sovietica del 1930. Una delle leggi empiriche più usate è quella del Siacci che costituiva il tentativo di unificare il risultato degli esperimenti condotti fino ad allora.

La figura 1 rappresenta la funzione *f(v)* di Krupp: sull'asse delle ordinate è data la resistenza dell'aria in kg che agisce su di un proiettile avente la sezione pari ad un centimetro quadrato.

La fig. 2, molto più significativa, è ottenuta dividendo i valori di *f(v)* per la velocità al quadrato così che la curva, a due diverse temperature, indica con evidenza in quale misura la resistenza del proiettile all'aria diverge dalla legge newtoniana di resistenza quadratica

$$10^6 \cdot K(v) = \frac{f/v)}{v^2}$$

Dalla curva si vede che la resistenza segue la legge quadratica (vale a dire che la curva ha un decorso orizzontale) per velocità inferiori alla velocità del suono; attorno alla velocità del suono la resistenza cresce improvvisamente e rapidamente (curva quasi verticale) in proporzionale di gran lunga superiore al quadrato della velocità; a velocità superiori a quella del suono la resistenza decresce anche in proporzione inferiore al quadrato della velocità. La formula per la resistenza, usando i valori *K(v)* diventa

Kg./cm²
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
200
400
600
800 m/s
Funzione resistenza f(v)
Fig. 1
4.0
3.0
2.0
.0
0
200
400
600
800
v(m/s)
+10°
-30°
Funzione $K(v)=\frac{f(v)}{v^2}$
Fig. 2

$$R = \frac{C^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{\delta}{\delta_0} \cdot v^2 \cdot \frac{K(v)}{10^6} \qquad \text{(Formula 8)}$$

Data la curva o dati i valori di *f(v)*, i valori di *K(v)* si otterranno con la formula

$$K(v) = \frac{f(v)}{v^2}$$

Per comodità i valori ottenuti si moltiplicano per 10^6 al fine di eliminare troppi decimali.

Per passare dai valori di $K(v).10^{-6}$, varianti da 1,2 a 7, ai corrispondenti valori di *f(v)* si userà la formula

$$f(v) = \frac{K(v) \cdot v^2}{10^6}$$

La curva elaborata dal Siacci e dai suoi altri contemporanei non poteva non essere rappresentativa dei proiettili di artiglieria del loro tempo, pesanti e scarsamente aerodinamici. Gli studi successivi sono stati rivolti ad adeguare, per quanto possibile, la curva tipo alla evoluzione dei proiettili di artiglieria e di arma leggera da guerra.

La figura 3, che riporta le curve del coefficiente aerodinamico dei proiettili tipo, serviti per formulare alcune delle leggi di resistenza, mostra chiaramente il grado di evoluzione raggiunto dai proiettili moderni.

Questo progresso è stato possibile da quando Prandtl ha studiato il comportamento dei proiettili in apposite gallerie a vento. Da tali studi è emerso che il fluido tende ad unirsi alle pareti del proiettile creando uno "strato limite" le cui linee di corrente si comportano come un "gas perfetto", a bassi numeri di Reynolds.

Ad elevati numeri di Reynolds, però, si creano turbolenze, tanto sui fianchi del corpo, quanto e soprattutto nella parte terminale.

Alla base del proiettile si crea un vortice d'aria frenante definito *risucchio* o *vortice di Karman*.

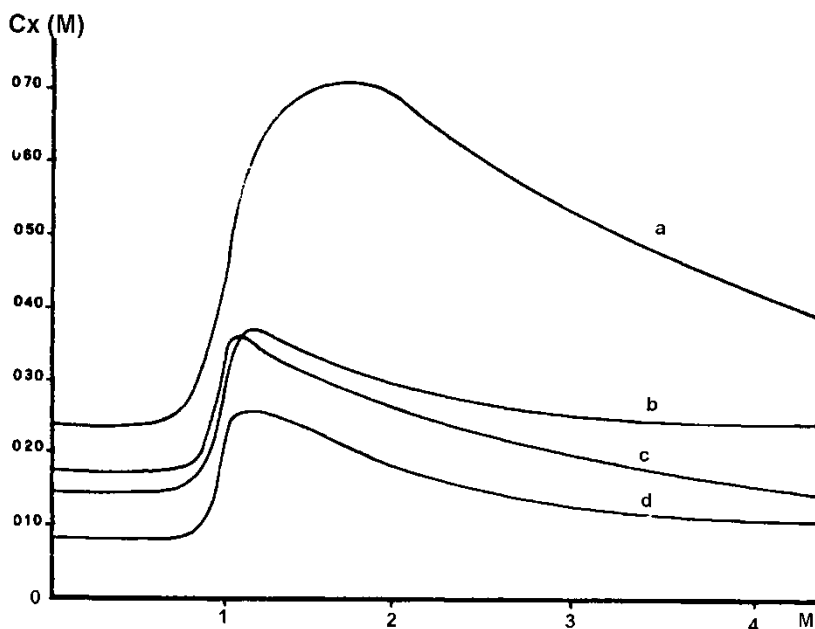



Fig. 3 - Coefficiente aerodinamico Cx di alcune leggi di resistenza citate: a- Siacci; b- Sovietica del 1943; e- Sovietica del 1930; d- Shapiro-Mazing-Prudnikov.

Lo svilupparsi delle turbolenze sui fianchi del proiettile determina l'impennata della curva del Cx in corrispondenza del "muro del suono".

Il risucchio si può ridurre rastremando la base del proiettile; le dimensioni ottimali sono date da una base conica lunga mezzo calibro. La parte appuntita di un proiettile supersonico di profilo ottimale è lunga da 3 a 4 calibri; l'intero proiettile supersonico è lungo da 4,5 a 6 calibri.

Nelle figure 3 e 4 sono illustrate le curve sperimentali stabilite dal tedesco Eberhard per alcuni tipi di proiettili.

Gli studi di Eberhard hanno condotto alla formulazione della curva di resistenza portante il suo nome, corrispondente alla curva del proiettile tipo Krupp con calibro di 10 cm e che non si discosta molto da quella del Siacci, ma di uso comune per il fatto che i valori di $f(v)$ sono stati tabellati dal Sängewald per velocità fino a 750 m/s. Non è comunque difficile calcolare i valori per velocità

superiori, ricavandoli direttamente e con una certa approssimazione dal grafico.

Tra le varie leggi di resistenza conserva ancora un certo interesse quella già citata del Majevski per il motivo che essa è alla base delle tavole di ritardazione dello Ingalls, ancora utilizzate in America.

In appendice a questo capitolo vengono riportate le tabelle del Sangewald.

Come già detto, la balistica moderna tende ad esprimere la legge di resistenza, non in relazione al coefficiente balistico, ma al coefficiente di resistenza aerodinamica del proiettile, con notevoli vantaggi matematici.

Uno studio analitico del fenomeno comporta però conoscenze matematiche superiori a quelle presupposte per quest'opera e perciò ci limitiamo a riprodurre, in appendice, una tavola con le curve dei valori di Cx per alcuni dei proiettili per i quali già sono state riportate le curve di Eberhard.

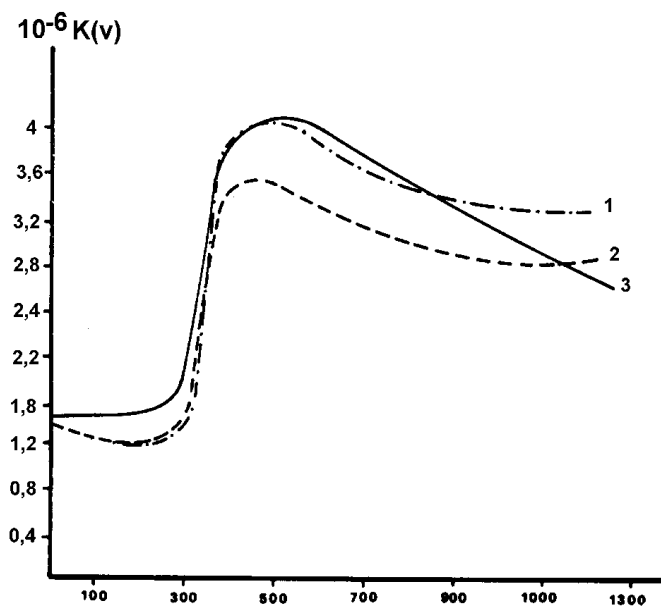



Fig. 4 - Curva dei valori di 10^{-6} K(v) di alcuni proiettili ideali:

1- Eberhard; 2- Sperimentale con ogiva di raggio 3 calibri; 3- Siacci.

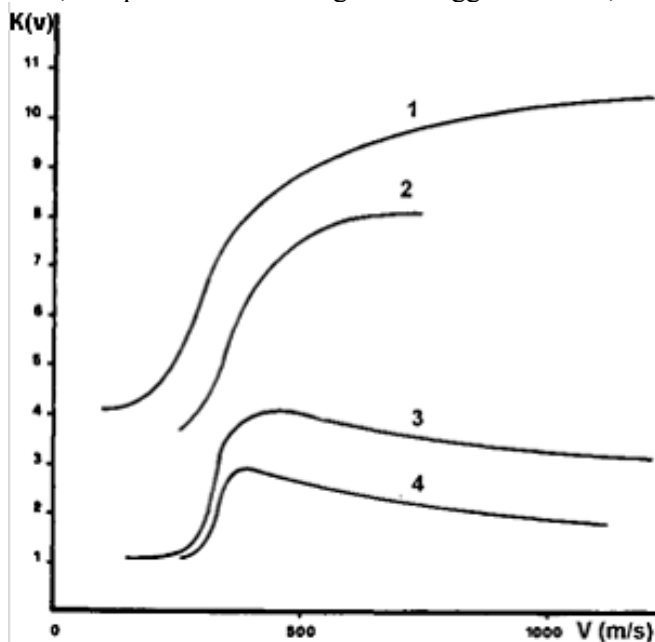



Fig. 5 Valori di $10^6 \cdot K(v)$di alcuni proiettili: 1 – Cilindrico cal. 10 mm. 2- Cil. cal. 7,9 mm. 3 – Standard cal 10 mm. 4 – Stand. cal. 7,9 mm

Il coefficiente o fattore di forma

Già abbiamo detto che ogni proiettile ha un suo caratteristico comportamento e che la resistenza dell'aria andrebbe calcolata in ogni caso sperimentalmente, per tutto l'arco di velocità possibili. La resistenza dell'aria, oltre che da fattori esterni al proiettile, quali i movimenti oscillatori durante il suo volo, è determinata dalla forma della punta del proiettile, dalla lunghezza del suo corpo, dalla forma della coda, dal materiale.

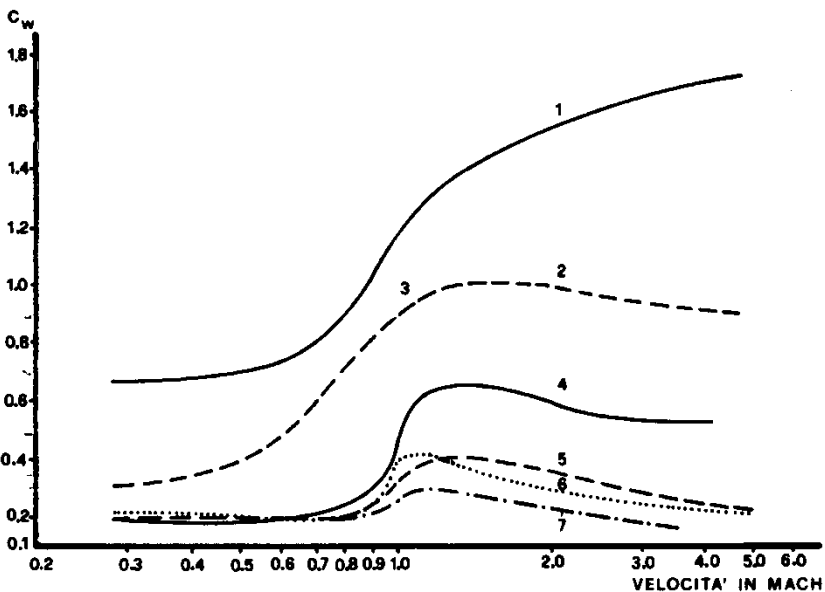



Fig. 6 - Coefficiente Cx di alcuni proiettili: 1 - Cilindrico, cal. 10 cm; 2 - Palla sferica; 3 - Palla sferica; 4 - Proiettile ideale di Krupp; 5 - Legge di resistenza Rheinmetall; 6 - Legge di resistenza tedesca nr. 2; 7 - Calibro 8,8 cm Flak.

L'influenza di questi singoli fattori varia con il variare della velocità. La forma della punta determina il valore dell'onda di pressione frontale esercitata dal fluido sul proiettile; il corpo ed il materiale di rivestimento del proiettile determinano la resistenza di attrito nell'aria; la base influisce sui valori di risucchio. Se il proiettile ha velocità infrasonica, le onde di pressione influiscono poco sulla resistenza, così che essa risulta composta principalmente dall'attrito e dal risucchio. Con l'aumentare della velocità a valori ultrasonici, aumenta anche la componente del fronte di pressione fino a raggiungere circa la metà del valore della resistenza totale.

Si comprende quindi la difficoltà di adottare un coefficiente "i" che consenta un perfetto adattamento della curva "tipo" della legge di resistenza alla curva reale del singolo proiettile; difficoltà che aumenta con proiettili per armi leggere per i quali si richiede una maggior precisione di calcolo.

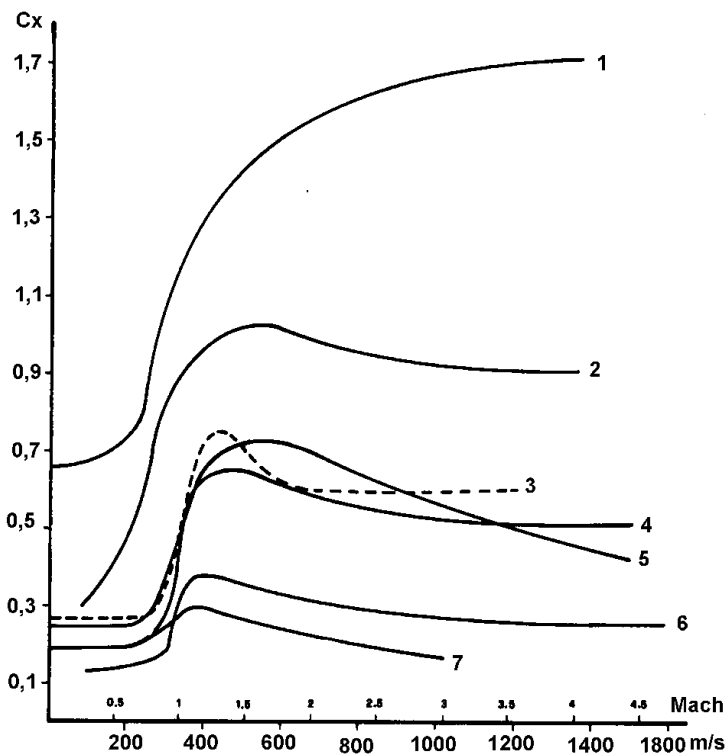



Fig. 7 - Coefficiente Cx di alcuni proiettili ideali e reali: 1- Proiettile cilindrico cal. 10 cm; 2 - Palla sferica; 3 - Legge di Majewsky; 4 - Legge di Eberhard; 5 - Legge di Siacci; 6 - Legge sovietica 1943; 7 - Proiettile Flak cal. 8,8 cm

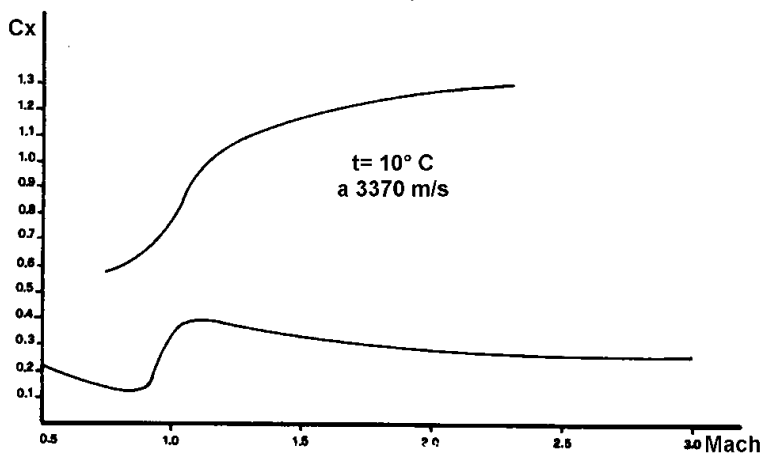



Fig. 8 - Coefficiente Cx sperimentale di un proiettile cilindrico cal. 7,9 mm. e del proiettile militare appuntito dello stesso calibro.

Se ad esempio nella figura 5 le curve fossero parallele fra di loro, basterebbe moltiplicare per un certo coefficiente i valori della curva tipo (ed in cui evidentemente si ha i = 1) per ottenere immediatamente tutti gli altri valori; ma non essendo parallele, qualunque coefficiente prescelto servirà solamente per passare da una curva all'altra per una specifica velocità istantanea, rispetto alla quale il coefficiente prescelto sia esatto.

Si ricordi quindi che per il calcolo della resistenza ad una determinata velocità è possibile individuare un coefficiente abbastanza esatto.

Invece, per calcoli che comportino lo studio di un'intera traiettoria, ove la velocità del proiettile varia da un massimo ad un minimo, ci si dovrà accontentare di valori medi approssimativi. Al fine di meglio comprendere i limiti di validità del sistema del fattore di forma si esamini la figura 6 ove sono riportati i Cx di diversi proiettili e in cui la curva 4 rappresenta la legge di Eberhard e quindi il fattore di forma i = 1; per le curve 5, 6, 7 che corrispondono a proiettili ad alta velocità moderni, si vede subito che essi hanno un coefficiente di forma eguale ad 1, fino alla velocità del suono e che il fattore "i" comincia a differenziarsi solo per velocità superiori. Dopo i 650 m/s, ad esempio, la curva 5 corre quasi parallela alla curva 4 e i valori della curva 5 possono ricavarsi, con una certa approssimazione, moltiplicandoli per i = 06; è evidente però che si otterrebbero risultati erronei usando tale fattore per le velocità inferiori.

La curva 3, relativa ad un proiettile sferico, diverge, approssimativamente, dei seguenti valori

m/s	i
100	1,5
170	2
240	3
300	2,8
340	2,25
375	1,6
475 in poi	1,5

Anche adottando un valore medio di i = 2 si finisce quindi per commettere un errore certamente non trascurabile.

Dal fatto che il coefficiente di forma indica il rapporto tra la resistenza effettiva di un dato proiettile e la resistenza di un proiettile tipo, deriva che tale coefficiente non può essere indicato in via generale, ma che esso è sempre ed esclusivamente relativo ad una data legge di resistenza: i coefficienti di forma da impiegare usando i valori del Majevski sono diversi da quelli necessari per i valori del Siacci ed entrambi saranno diversi da quelli da introdurre usando le tavole del Sängewald, anche se non sempre (a causa della sostanziale coincidenza delle varie curve a certi valori di velocità) le differenze saranno macroscopiche.

In prima approssimazione si può ritenere che il fattore "i" vari da 0,40 per proiettili militari per moschetto appuntiti, a 1 - 1,2 per proiettili da pistola e rivoltella a punta tondeggiante, fino a 3-4 per proiettili cilindrici (wad cutter).

I valori riportati nella letteratura americana, talvolta senza ulteriori precisazioni, sono di solito riferiti, come già detto, alla formula Majevski ed alle tavole di ritardazione dello Ingalls. Per queste tavole può essere utile usare gli schemi di Bugless-Coxe che per proiettili di arma lunga consentono di calcolare "i" a seconda del raggio di curvatura della punta del proiettile ogivale o del proiettile a punta tondeggiante, raggio che viene espresso in rapporto al calibro (vedi pagina seguente).

Esistono complicate formule (ad es. di F.N. Krasnov) per calcolare il coff. di forma solo in base ai dati dimensionali e alla velocità del proiettile, ma è molto complicato poter individuare tutti i parametri necessari.

La seguente formula consente di individuare il fattore di forma dalla perdita di velocità del proiettile sulla trattaa da 200 a 300 metri e il fattore di forma i sarà dato da:

$$i = \frac{\Delta V \cdot P}{T \cdot R^2 \cdot \pi \cdot 9.81 \cdot m \cdot V^n}$$

In cui i valori di *m* ed *n* sono quelli visti per la legge di Majevski, utilizzando come velocità quella media tra velocità iniziale e velocità finale sul tratto e in cui P = peso in g/1000, ΔV la perdita di velocità da 200 a 300 m, R il calibro in mm/2000.

Vi è una formula specifica per i proiettili appuntiti di fanteria e che non può essere adottata per altri proiettili:

$$i = \frac{1}{1,41} - \frac{122,68}{V} + 0,0005915 \cdot V$$

La formula dà le variazioni di i in funzione della velocità.

Metodo di Bugless-Coxe

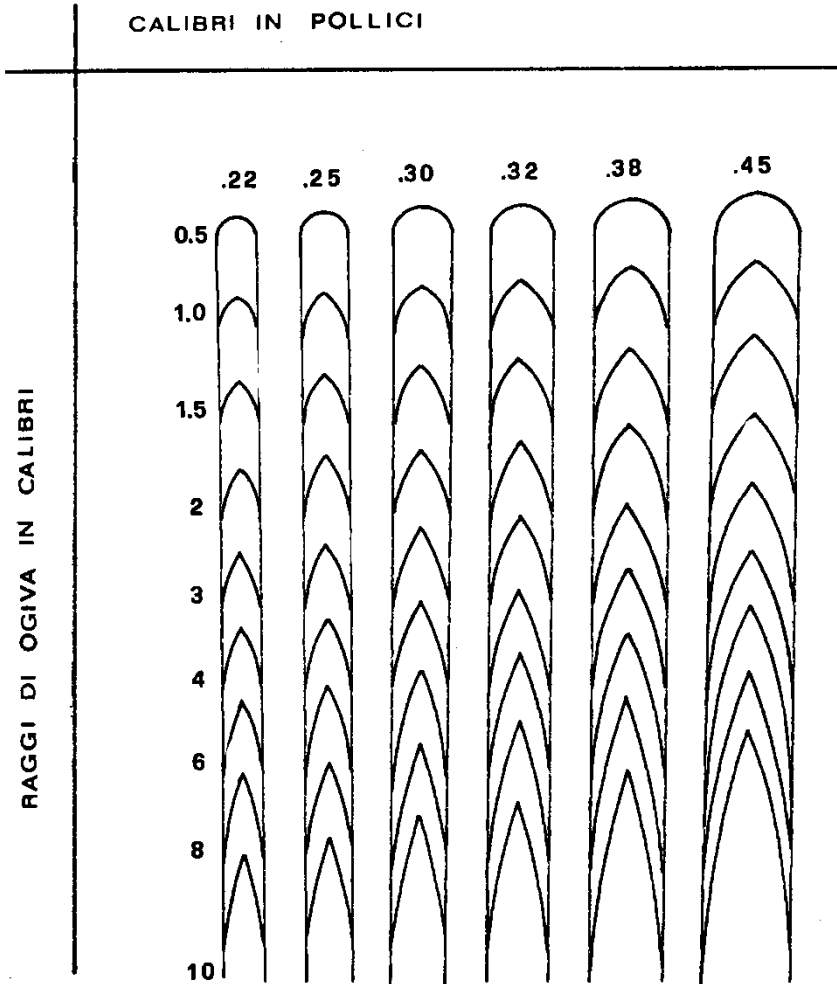



Fig. 9a

Forma del proiettile			cal.
Proiettile	tozzo	cilindrico	
Proiettile	tozzo	parte curva di	0.9
Proiettile	tozzo	parte curva di	0,8
Proiettile	tozzo	parte curva di	0,7
Proiettile	tozzo	parte curva di	0,6
Ogiva	con raggio di	parte curva di	0,5
Ogiva	con raggio di	parte curva di	1
Ogiva	con raggio di	parte curva di	1,5
Ogiva	con raggio di	parte curva di	2
Ogiva, velocità oltre 600 m/s		"	3
Ogiva, velocità infer. 600 m/s		"	3
Ogiva, velocità oltre 600 m/s		"	4
Ogiva, velocità infer. 600 m/s		"	4
Ogiva, velocità oltre 600 m/s		"	6
Ogiva, velocità infer. 600 m/s		"	6
Ogiva, velocità oltre 600 m/s		"	8
Ogiva, velocità infer. 600 m/s		"	8
Ogiva, velocità oltre 600 m/s		"	10
Ogiva, velocità infer. 600 m/s		"	10

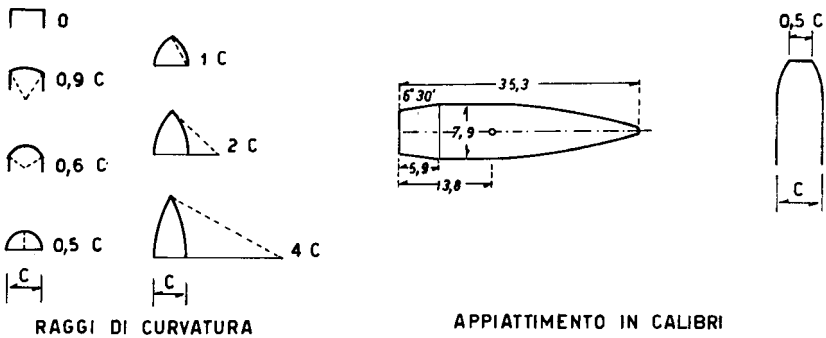



Fig. 9b

Coefficiente di forma i

Punta normale	Diametro della punta piatta o cava espresso in calibri				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
2,30					
1,85					
1,50					
1,30					
1,10					
1,40					
1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,40
0,95	1,00	1,10	1,15	1,25	1,35
0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,25
0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10
0,75	0,80	0,85	0,95	1,05	1,15
0,60	0,65	0,70	0,75	0,85	1,00
0,70	0,75	0,80	0,85	0,95	1,10
0,55	0,60	0,65	0,70	0,80	0,95
0,65	0, 70	0,80	0,85	0,95	1,10
0,49	0,55	0,60	0,65	0,75	0,90
0,60	0,65	0,70	0,75	0,85	1,00
0,44	0,50	0,55	0,60	0,70	0,85
0,55	0,60	0,65	0,70	0,80	0,95
2,00					
1,70					
1,40					

Partendo dalla figura 9a si cerca di individuare, a seconda del calibro indicato in testa alla figura, quale sia più o meno il raggio di curvatura dell'ogiva del proiettile e con esso si entra nella figura 9b ove nella prima colonna sono indicati i valori di "i" per proiettili a punta tondeggiante o appuntita mentre nelle restanti colonne sono indicati valori da sostituire a quelli della prima colonna quando il proiettile è a punta appiattita o cava (a seconda del diametro, espresso in calibri, dell'appiattimento). Per ottenere una ancor maggiore precisione si può tener conto di altri fattori da aggiungere o sottrarre ai valori trovati sopra.

Se il corpo del proiettile (corpo è la parte che viene a contatto con l'anima dell'arma e non comprende perciò l'ogiva e la coda ra-

stremata) è più corto di cinque calibri, il fattore di forma va diminuito delle seguenti quantità:

corpo = 4 calibri - 0,01
corpo = 3 calibri - 0,03
corpo = 2 calibri - 0.04
corpo = 1 calibro - 0,05

Il cono di base, con un angolo normale di 15° comporta una diminuzione del coefficiente di forma di -0,08; la presenza di mantellatura sporgente (Scharfrand) comporta un aumento di +0,15; la presenza di punta di piombo fuori mantellatura e lunga più di 0,3 calibri, un aumento di + 0,06.

Si abbia ad esempio un proiettile 8 x 57 JS HMB Norma a base rastremata e punta di piombo, raffigurato in fig. 9 bis, con ogiva pari a 32 mm e quindi a 4 calibri. Si avrà, in relazione ad una velocità iniziale di 755 m/s:

Valore base dalla tabella	0,60
Arrotondamento della punta pari a 0,5 calibri	0,40
Cono di base	- 0,08
Punta di piombo	0,06
Coefficiente "i"	= **0,98**

Ecco il coefficiente di forma "i" per alcuni proiettili per arma corta, relativamente alle tavole di Ingalls

calibro	**ambito di velocità**	**i**
38 Sp. Piombo, punta normale	240-265	0,99
38 Sp. Piombo, punta emisferica	202-222	1,49
38 Sp. Piomb , wad cutter	170-134	3,8
38 ACP blindata	280-320	0,94
38 Super blindata	320-390	0,99
9 mm para	300-350	0,97
357 magnum semi WC	340-435	1,21
44 magnum Remington	340-450	1,45
45 ACP blindata	235-260	1,02
45 ACP Rem.semi WC	190-235	2
45 Colt,piombo,punta piatta	235-265	1,13
Palla Lyman per avancarica subsonica	“	2,4
Palla Lyman troncoconica	"	3,5
Palla sferica	“	2,06
Palla sferica	ipersonica	2,9

Conoscendo il Cx di un proiettile è possibile risalire con una certa approssimazione al fattore di forma del proiettile stesso in relazione ad una data legge di resistenza e viceversa.

Comparando le formule

$$\frac{Cx}{2}\delta v^2 \frac{C^2\pi}{4} = \frac{C^2\pi}{4} i \cdot f(v)$$

ed eliminando i termini eguali, si ricava infatti

$$Cx = \frac{i \cdot f(v) \cdot 2}{\delta \cdot v^2} \quad \text{(Formula 9)}$$

ove naturalmente la velocità è espressa in Mach e non in m/s e quindi

$$i \cdot \frac{Cx \cdot v^2 \delta}{2 \cdot f(v)}$$

Il coefficiente aerodinamico Cx può essere dedotto dalla differenza di velocità misurate sperimentalmente su di una data distanza, possibilmente breve, secondo la formula

$$Cx = \frac{\ln v_1 - \ln v_2}{\frac{\delta}{2} \cdot \frac{F}{P} \cdot S}$$

In cui v_1 e v_2 sono le velocità iniziali e finali in m/s da prendere in considerazione; "S" è la lunghezza della base di tiro (cioè il tratto di traiettoria) in metri; "F" la sezione in metri quadrati; "P" il peso del proiettile in kg

È da avvertire però che le misurazioni devono essere effettuate con la massima precisione e con prove ripetute in modo da eliminare il più possibile gli errori, poiché piccoli errori nella misurazione comportano errori rilevanti nel risultato.

Sia ad esempio il proiettile appuntito per K98 e siano

V_0 = 706 m/s P= kg 0,0128; Cal = m 0,008

$$Cx = \frac{\ln 706 - \ln 660}{\frac{1{,}225}{2} \cdot \frac{0{,}008^2 \cdot 3{,}14}{4 \cdot 0{,}0128} \cdot 100} = 0{,}28$$

da cui, applicando la formula precedente, i = 0,45 circa.

È opportuno però far presente che nei calcoli balistici pratici ciò che in genere interessa non è di ottenere gli esatti valori della ritardazione, ma il risultato pratico che gli elementi della traiettoria calcolati corrispondano a quelli effettivi. Perciò avendo a disposi-

zione una tavola di tiro impostata sui valori usuali del coefficiente balistico, dell'angolo di tiro e della gittata, e conoscendo per un dato proiettile di cui si ignora la legge di resistenza, quale è la gittata sperimentale per un dato angolo di tiro, si rileva dalla tavola quale è il coefficiente balistico della legge standard corrispondente alla medesima gittata; il rapporto tra il coefficiente così trovato e quello del proiettile in esame indicherà il cosiddetto "coefficiente globale di forma" che consente di rapportare i dati standard della traiettoria, alla traiettoria ricercata.

Un procedimento analogo è quello con cui, attraverso le tavole di ritardazione, conosciute le perdite di velocità su di un dato percorso, si risale al coefficiente balistico e da questo al coefficiente di forma "i". Se il percorso è breve si avrà un fattore di forma istantaneo; se il percorso è alquanto lungo, il fattore trovato si può considerare come "globale" nel senso indicato.

Vedremo il procedimento nel capitolo relativo all'uso delle tavole di ritardazione.

Si rilevi infine che il problema della resistenza dell'aria è esposto nei testi come se il proiettile fosse un missile che parte a bassa velocità e la cui resistenza all'aria aumenta con l'aumentare della velocità, fino a raggiungere il muro del suono. In realtà il proiettile di un'arma esce con la sua massima velocità dall'arma; se esce a velocità supersonica può percorre un notevole tratto prima di arrivare al muro delle suono con le relative turbolenze e in questo tratto l'andamento della resistenza dei proiettili moderni e pressoché rettilineo e il valore di –i- è sufficientemente stabile perché i cambiamenti bruschi della curva di resistenza si hanno vero la fine della traiettoria e non all'inizio.

L'atmosfera

Le leggi sulla resistenza esaminate sono riferite a condizioni standard di atmosfera. In genere i dati standard convenzionali sono quelli che si riportano in tab.Vl a,b,c. La legge di Eberhard è calcolata però su dati leggermente diversi e cioè una temperatura di 10° C e una densità atmosferica pari a 1,220 kg/mc, ma la differenza è del tutto trascurabile per i calcoli che proponiamo.

Già abbiamo visto nelle formule riportate in quale modo in esse si tenga conto della densità dell'aria.

Fattori di correzione sono riportati anche nel capitolo "Le tavole di ritardazione".

La temperatura dell'aria non influisce sulla resistenza solo in funzione della densità, ma anche sotto un altro aspetto: la velocità del suono nell'aria varia con il variare della temperatura e, siccome la velocità del suono rappresenta la soglia critica della resistenza di ogni proiettile, è evidente che ogni variazione nella temperatura comporterà come conseguenza una variazione nella velocità alla quale la resistenza comincerà a divergere dalla legge quadratica; in altre parole, e con riferimento alla fig. 4, in cui è rappresentata la già nota curva K(v), il variare della temperatura comporterà uno spostamento in avanti od indietro del tratto verticale della curva, mentre l'influenza della temperatura, (nel senso indicato e non in riferimento alla densità dell'aria), sui tratti a decorso orizzontale, può ritenersi trascurabile.

Con formula molto approssimata, la densità dell'aria a livelli terrestri, che viene essere assunta pari a 1,225 kg/mc nell'atmosfera standard al livello del mare ed alla temperatura di 15 gradi, può essere calcolata con la seguente formula, nota la temperatura e la pressione atmosferica in millimetri di mercurio,

$$\delta = \frac{0{,}465 \cdot Pr_{merc}}{273 + T}$$

Ricordo che la pressione in mm di mercurio si ottiene moltiplicando la pressione in millibar per 0,75 e che la temperatura, in linea di massima, diminuisce di 0,65 gradi quando si sale di 100 metri.

Quando non si conosce la pressione atmosferica ma solo l'altitudine H del luogo ove si sviluppa la traiettoria del proiettile, la formula di cui sopra diventa

$$\delta = \frac{347 - 0{,}033 \cdot H_m}{273 + T}$$

Per gli usi normali di un'arma nelle nostre regioni, la densità dell'aria può però essere trascurata dallo sparatore; in genere la diminuzione di densità dovuta al crescere dell'altitudine, viene compensata dalla diminuzione di temperatura e, comunque, il fatto di sparare in un'atmosfera meno densa, come avviene in alta montagna, comporta un miglioramento della traiettoria che sarà più tesa.

Nel caso si voglia tenere conto anche dell'influsso della temperatura, è di pratico impiego la formula per la resistenza così modificata

$$R = c = v^2 K(v) \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

In cui c è il coeff. balistico e

$$K(v) = \frac{f(v)}{v^2}$$

La velocità da assumere viene corretta moltiplicandola per il rapporto tra la temperatura assoluta campione e la temperatura assoluta data (273+t).

Sia ad esempio la temperatura reale dell'aria pari a 20°C e la velocità del proiettile 370 m/s; invece di usare la funzione

K(v) di =370

si userà la funzione relativa a

$$K(v)\ di\ 370 \cdot \sqrt{\frac{273 + 15}{273 - 20}} = 394$$

Molto usata per calcoli approssimativi la formula di Everling che così calcola la densità dell'aria in relazione alla altitudine:

$$\delta_y = \delta_0 \cdot 10^{-0{,}000046 \cdot y}$$

Una diminuzione della temperatura comporta un aumento della resistenza e quindi un accorciamento della traiettoria; un aumento della temperatura comporta, inversamente, un allungamento del tiro.

Un bell'esempio dell'influenza dei parametri atmosferici sul tiro è fornito dal cannone L/162 di Parigi (Pariser Geschütz, da non confondere con la Grande Berta). Esso fece la sua comparsa il 23 marzo 1918 quando iniziarono a piovere su Parigi dei proiettili nemici di inspiegabile provenienza poiché il fronte era a 100 km dalla città!

Dopo l'arresto dei tedeschi sulla Marna, non era venuta meno l'idea di colpire Parigi e alla Krupp il direttore Rausenberger e il famoso balistico Eberhard, si erano messi all'opera. In quel momento la gittata massima pensabile era quella di 40 km raggiunta dal cannone da costa inglese da 380 mm. Un giorno però, nel poligono della Krupp accadde che un proiettile andò perso e finì nel

giardino di un parroco, ben 10 km oltre il limite considerato di sicurezza, e quindi con una gittata massima superiore del 20% a quella prevedibile. Eberhard si mise a tavolino e, dopo calcoli su calcoli, scoprì un fatto fino ad allora sfuggito ai balistici: se si spara con un angolo di tiro elevato, superiore a 45°, in modo che il proiettile raggiunga rapidamente gli strati meno densi dell'atmosfera, conservando una elevata velocità, il successivo tratto della traiettoria avviene in condizioni di resistenza minime, con il sorprendente aumento di gittata. Calcolò così che il proiettile doveva essere stato sparato, per errore del puntatore, con un angolo di 55 gradi, fatto che le prove successive confermarono.

Perciò, quando i generali richiesero alla Krupp un cannone capace di sparare a 120 km. le basi teoriche erano già pronte. Si trattava di realizzare l'arma con una adeguata velocità iniziale. I calcoli portarono a concludere che si doveva impiegare un calibro da 210 mm con una velocità iniziale di 1650 m/s. Sarebbe infatti stato impossibile costruire un cannone di calibro maggiore, con le dimensioni necessarie e, d'altra parte, un calibro più piccolo non sarebbe stato distruttivo.

Il proiettile, particolarmente aerodinamico, venne munito di corona di forzamento in acciaio, in quanto quelle di rame non avrebbero retto alle sollecitazioni. Ciò comportò problemi nel caricamento perché il proiettile doveva essere, per così dire, avvitato nella rigatura e presentato nell'esatta posizione alla culatta. Il proiettile pesava 105-120 kg con una gittata massima di 132 km.

La carica di lancio era quasi tre volte quella normale e la ditta Nobel dovette studiare una polvere alla nitroglicerina con 825 cal/kg che non rovinasse troppo la canna.

La canna aveva la lunghezza di 40 metri e doveva essere sostenuta per evitare che si incurvasse; il peso complessivo era di 400 tonnellate (circa 1000 se si considera il supporto per il trasporto).

Al momento dello sparo veniva fatta contemporaneamente sparare una serie di cannoni normali, posti sul territorio circostante, al fine di impedire la nemico la localizzazione acustica del pezzo (vi erano già i ricognitori aerei).

Vennero costruiti, a quanto sembra, tre esemplari dell'arma (probabilmente tre bocche da fuoco ed un solo affusto). Alla fine della guerra erano in corso di produzione altri 4 esemplari.

I tiri su Parigi cessarono però rapidamente: i tecnici non avevano previsto la rapida usura dell'anima della bocca da fuoco, soggetta a straordinarie sollecitazioni; dopo una ventina di colpi la velocità cominciava a diminuire, costringendo ad aumentare la carica di polvere e dopo circa 60 colpi la bocca da fuoco diveniva inutilizzabile.

Esempi pratici

Facciamo ora alcuni esempi pratici ragionati di calcolo della resistenza dell'aria e della ritardazione.

Vedremo poi in altro capitolo come i dati così trovati possono essere utilizzati.

Sia ad esempio da stabilire la ritardazione che subisce un proiettile cal. 8 x 57 militare per carabina Mauser K 98 alla velocità di 750 m/s in condizioni standard di atmosfera, E sia quindi:

V = 750 m/s P = 0,0128 kg d = 0,8 cm

In questo caso disponiamo fortunatamente della curva dei valori di Cx per il proiettile in esame (fig.8), e da questa possiamo ricavare che, per la velocità di 2,2 Mach = 750 m/s si ha Cx = 0,30.

Dalla formula (7) avremo

$$R = \frac{0{,}30}{2} \cdot 1{,}225 \cdot 2{,}2^2 \cdot \frac{0{,}8^2 \cdot \pi}{4} = 0{,}447\ kg$$

e perciò

$$Rit = \frac{0{,}447 \cdot 9{,}81}{0{,}01128} = 342\ m/s^2$$

Lo stesso risultato si sarebbe potuto ottenere calcolando il Cx in modo diretto dai dati balistici del proiettile.

Se V_0 = 750 m/s e V_{100} = 699 m/s

$$Cx = \frac{\ln 750 - \ln 699}{\frac{1{,}225}{2} \cdot \frac{\frac{0{,}008^2 \cdot 3{,}14}{4}}{0{,}0128} \cdot 100}\ 0{,}29$$

Se del proiettile non si può calcolare il Cx è giocoforza accontentarsi di risultati molto più approssimativi in cui la bontà del calcolo dipende dalla giusta valutazione del fattore "i". Ad esempio

con la formula di Majevski, se si supponesse un coefficiente i = 0,65, si otterrebbe:

$$R = \frac{0{,}008^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}2616 \cdot 10^{-1} \cdot 750^{1{,}7} = kg\ 0{,}66$$

e perciò Rit. = 505 m/s^2, il che rappresenta un notevole errore.

Un risultato esatto si ha identificando il proiettile come avente il raggio dell'ogiva pari a 10 calibri da cui i = 0,44

La medesima difficoltà si incontra applicando le tabelle di Sängewald che danno un risultato esatto con il medesimo fattore di forma i = 0,445

$$R = \frac{0{,}8^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0{,}455 \cdot 2 = kg\ 0{,}447$$

e Rit = 342 m/s^2

Vediamo ora; quale sia la ritardazione dello stesso proiettile alla velocità di 300 m/s

Dalla fig. 8 deduciamo che, per Mach 0,88, Cx è pari a 0,2 circa;

$$R = \frac{1}{2} 0{,}2 \cdot 1{,}225 \cdot 0{,}88^2 \cdot \frac{0{,}8^2 \cdot \pi}{4} = 0{,}047\ kg$$

e Rit = 36 m/s^2

Per ottenere il medesimo risultato con le tabelle di Sängewald occorre scegliere i = 0,7 (si ricorda qui che anche "i", come Cx, varia al variare della velocità), da cui

$$R = \frac{0{,}8^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}139 = kg\ 0{,}0048$$

Rit.= 37,5 m/s^2 .

Con la formula del Majevski il conto torna con i = 0,6 come del resto si ricava esattamente per un proiettile con raggio di ogiva di 10 calibri

$$R = \frac{0{,}008^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0{,}6 \cdot 6{,}70 \cdot 10^{-10} 300^5 = 0{,}049\ kg$$

Rit.= 37 m/ s^2

Vediamo infine la ritardazione per un proiettile cal.9 Parabellum e sia

V = 300 m/s P = 8 g d = 0,9 cm

Dalle tavole balistiche del proiettile si legge V_0 = 350 m/s, V_{10} = 345 m/s e si può ricavare Cx = 0,30 valore da accettare con cautela nel nostro caso, perché riferentesi proprio alla zona del "muro del suono" in cui più rilevanti sono le variazioni della resistenza. Ad ogni modo si avrà

$$R = \frac{1{,}225}{2} \cdot 0{,}88^2 \cdot 0{,}3 \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot \pi}{4} = 0{,}090\ kg$$

Rit. = 110 m/ s^2

Con la formula del Majevski, supponendo i = 0,9 si avrà

$$R = \frac{0{,}009^2 \cdot \pi}{4} \cdot 6{,}709 \cdot 10^{-10} \cdot 300^5 \cdot 0{,}9 = 0{,}093\ kg$$

Rit. = 110/m/ s^2

Con la formula del Sängewald ponendo i = 1 si ha

$$R = \frac{0{,}9^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0{,}1396 = 0{,}088\ kg$$

Rit. = 107 m/ s^2

Penso di fare cosa utile ai lettori riportando la tavola di tiro per la cartuccia militare 8x57, calcolata con la massima esattezza e utile per controllare la bontà di un programma balistico o l'esattezza dei propri calcoli.

Tavola di tiro della cartuccia militare 8x57 sS (schweres Spitzgeschoss) per Mauser K98. Velocità iniziale 755 m/s - Peso palla g 12,8 - Polvere g 2,85

Angolo di rilevamento +3'40" - Densità sezionale 26,2 g/cm^2

Dist. m	Angolo		Vertice		Tempo	Vel.	Energia
	proiezione	caduta	x	y	volo	finale	kgm
100	3'10"	3'20"	50	0,02	0,14	706	325
200	6'10"	6'20"	101	0,1	0,28	660	284
300	9'30"	9'50"	152	0,2	0,44	616	247
400	13'0"	14'20"	205	0,4	0,61	574	215
500	17'10"	19'40"	259	0,7	0,79	534	186
600	21'50"	26'40"	315	1,1	0,98	495	160
700	27'20"	35'40"	373	1,6	1,20	459	137
800	33'40"	46'50"	433	2,3	1,43	426	118
900	40'50"	1°0'30"	494	3,2	1,69	395	102
1000	49'0"	1°17'10"	557	4,5	1,96	357	88
1100	58'20"	1°37'0"	621	6,0	2,26	343	77
1200	1°9'0"	1°59'50"	685	8,0	2,56	322	68
1300	1°20'40"	2°25'20"	748	10,5	2,89	306	61
1400	1°33'30"	2°52'50"	811	13,5	3,23	293	56
1500	1°47'0"	3°21'50"	873	17,0	3,58	283	52
1600	2°1'30"	3°52'0"	934	20,0	3,94	271	49
1700	2°16'50"	4°23'20"	994	25,0	4,31	266	46
1800	2°33'0"	4°56'20"	1052	29	4,70	259	44
1900	2°49'50"	5°30'30"	1110	35	5,10	252	41
2000	3°7'30"	6°6'30"	1168	41	5,51	245	39

APPENDICE DI TAVOLE

I

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) – I valori di f(v) devono essere divisi per 100							
m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)
1	0,000	26	0,081	51	0,310	76	0,687
2	0,001	27	0,087	52	0,322	77	0,706
3	0,001	28	0,093	53	0,334	78	0,724
4	0,002	29	0,100	54	0,347	79	0,743
5	0,003	30	0,107	55	0,360	80	0,762
6	0,004	31	0,114	50	0,373	81	0,781
7	0,006	32	0,122	57	0,387	82	0,800
8	0,008	33	0,130	58	0,400	83	0,820
9	0,010	34	0,138	59	0,414	84	0,840
10	0,012	35	0,140	60	0,428	85	0,860
11	0,014	30	0,154	61	0,443	86	0,880
12	0,017	37	0,163	62	0,457	87	0,901
13	0,020	38	0,172	63	0,452	88	0,922
14	0,023	39	0,181	65	0,487	89	0,943
15	0,027	40	0,190	65	0,503	90	0,964
16	0,031	41	0,200	66	0,518	91	0,986
17	0,034	42	0,210	67	0,534	92	1,007
18	0,039	43	0,220	68	0,550	93	1,029
19	0,043	44	0,230	69	0,567	94	1,051
20	0,048	45	0,241	70	0,583	95	1,074
21	0,053	46	0,252	71	0,600	96	1,097
22	0,058	47	0,263	72	0,617	97	1,120
23	0,063	48	0,274	73	0,634	98	1,143
24	0,069	49	0,286	74	0,652	99	1,166
25	0,074	50	0,298	75	0,669	100	1,190

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) – I valori di f(v) devono essere divisi per 100							
m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)
101	1,214	126	1,889	151	2,720	176	3,684
102	1,238	127	1,919	152	2,755	177	3,726
103	1,263	128	1,950	153	2,791	178	3,769
104	1,287	129	1,980	154	2,827	179	3,812
105	1,312	130	2,011	155	2,863	180	3,854
106	1,337	131	2,042	150	2,900	181	3,898
107	1,363	132	2,074	157	2,937	182	3,942
108	1,388	133	2,105	158	2,976	183	3,986
109	1,414	134	2,137	159	3,011	184	4,031
119	1,410	135	2,169	160	3,049	185	4,076
111	1,466	136	2,201	161	3,086	186	4,122
112	1,493	137	2,233	162	3,124	187	4,168
113	1,520	138	2,266	163	3,163	188	4,214
114	1,547	139	2,299	164	3,201	189	4,261
115	1,574	140	2,333	165	3,240	190	4,308
116	1,601	141	2,360	166	3,279	191	4,355
117	1,629	142	2,400	167	3,318	192	4,403
118	1,657	143	2,434	168	3,358	193	4,451
119	1,685	144	2,468	169	3,397	194	4,499
120	1,713	145	2,502	170	3,437	195	4,548
121	1,742	146	2,539	171	3,477	196	4,596
122	1,771	147	2,575	172	3,518	197	4,645
123	1,801	148	2,611	173	3,559	198	4,695
124	1,830	149	2,647	174	3,600	199	4,744
125	1,859	150	2,684	175	3,642	200	4,794

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) – I valori di f(v) devono essere divisi per 100							
m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)
201	4,843	226	6,166	251	7,841	276	10,222
202	4,893	227	6,224	252	7,922	277	10,334
203	4,944	228	6,282	253	8,003	278	10,447
204	4,994	229	6,340	254	8,086	279	10,562
205	5,045	230	6,399	255	8,170	280	10,680
206	5,096	231	6,459	250	8,255	281	10,799
207	5,147	232	6,519	257	8,342	282	10,922
208	5,198	233	6,580	258	8,430	283	11,049
209	5,249	234	6,642	259	8,519	284	11,179
219	5,301	235	6,705	260	8,609	285	11,313
211	5,353	236	6,769	261	8,700	286	11,451
212	5,405	237	6,833	262	8,793	287	11,593
213	5,458	238	6,898	263	8,887	288	11,739
214	5,510	239	6,965	264	8,982	289	11,890
215	5,563	240	7,032	265	9,078	290	12,046
216	5,616	241	7,100	266	9,176	291	12,206
217	5,670	242	7,169	267	9,275	292	12,372
218	5,723	243	7,240	268	9,375	293	12,543
219	5,777	244	7,311	269	9,476	294	12,720
220	5,832	245	7,383	270	9,579	295	12,902
221	5,886	246	7,457	271	9,683	296	13,001
222	5,942	247	7,531	272	9,796	297	13,286
223	5,997	248	7,607	273	9,895	298	13,488
224	6,053	249	7,684	274	10,003	299	13,697
225	6,110	250	7,762	275	10,112	300	13,914

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) – I valori di f(v) devono essere divisi per 100							
m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)
301	14,139	326	23,612	351	39,686	376	52,124
302	14,372	327	24,219	352	40,268	377	52,542
303	14,614	328	24,612	353	40,842	378	52,955
304	14,865	329	25,420	354	41,409	379	53,361
305	15,126	330	26,045	355	41,968	380	53,769
306	15,396	331	26,686	356	42,519	381	54,171
307	15,677	332	27,341	357	43,063	382	54,569
308	15,969	333	28,008	358	43,601	383	54,966
309	16,272	334	28,684	359	44,131	384	55,358
310	16,587	335	29,367	360	44,653	385	55,749
311	16,914	336	30,054	361	45,169	386	50,141
312	17,254	337	30,744	362	45,678	387	50,530
313	17,609	338	31,430	363	40,180	388	50,917
314	17,976	339	32,109	364	40,674	389	57,303
315	18,360	340	32,781	365	47,163	390	57,690
316	18,760	341	33,448	366	47,614	391	58,073
317	19,176	342	34,105	367	48,120	392	58,455
318	19,608	343	34,763	368	48,588	393	58,835
319	20,055	344	35,399	369	49,051	394	59,215
320	20,520	345	36,035	370	49,507	395	59,594
321	21,000	346	36,663	371	49,957	396	59,975
322	21,496	347	37,283	372	50,402	397	60,355
323	22,008	348	37,89	373	50,841	398	60,734
324	22,537	349	38,503	374	51,274	399	61,113
325	23,081	350	39,097	375	51,702	400	61,492

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) – I valori di f(v) devono essere divisi per 100							
m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)
401	61,871	426	71,350	451	80,946	476	90,599
402	62,250	427	71,731	452	81,331	477	90,986
403	62,568	428	72,113	453	81,717	478	91,372
404	63,006	429	72,495	454	82,102	479	91,759
405	63,384	430	72,878	455	82,488	480	92,145
406	63,762	431	73,260	450	82,874	481	92,532
407	61,140	432	73,643	457	83,259	482	92,919
408	61,518	433	74,026	458	83,045	483	93,305
409	61,896	434	74,409	459	84,031	484	93,692
419	65,274	435	74,793	460	84,417	485	94,079
411	65,652	436	75,176	461	84,804	486	94,466
412	66,031	437	75,560	462	85,190	487	94,852
413	66,109	438	75,944	463	85,576	488	95,239
414	66,788	439	76,328	464	85,962	489	95,626
415	67,167	440	76,712	465	80,348	490	96,013
416	67,546	441	77,096	466	80,734	491	96,400
417	67,926	442	77,481	467	87,121	492	96,786
418	68,305	443	77,865	468	87,507	493	97,173
419	68,685	444	78,250	469	87,893	494	97,560
420	69,065	445	78,635	470	88,893	495	97,947
421	69,445	446	70,019	471	88,666	496	98,334
422	69,825	447	70,404	472	89,053	497	98,720
423	70,206	448	70,790	473	89,439	498	99,107
424	70,587	449	80,175	474	89,826	499	99,494
425	70,968	450	80,560	475	90,212	500	99,881

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) – I valori di f(v) devono essere divisi per 100							
m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)	m/s	f(v)
601	138,900	626	148,700	651	158,595	676	168,807
602	139,349	627	149,092	652	158,997	677	109,223
603	139,737	628	149,484	653	159,399	678	169,639
604	140,125	629	149,876	654	159,801	679	170,056
605	140,514	630	150,269	655	160,205	680	170,474
606	140,902	631	150,001	650	160,608	681	170,898
607	141,291	632	151,054	657	161,013	682	171,311
608	141,679	633	151,448	658	161,418	683	171,730
609	142,068	634	151,841	659	161,823	684	172,150
610	142,457	635	152,235	660	162,229	685	172,570
611	142,846	636	152,630	661	162,636	686	172,991
612	143,236	637	153,024	662	163,043	687	173,412
613	143,625	638	153,419	663	163,451	688	173,834
614	144,014	639	153,815	664	163,859	689	174,257
615	144,404	640	154,210	665	164,268	690	174,679
616	144,794	641	154,607	666	164,678	691	175,103
617	145,184	642	155,003	667	165,088	692	175,527
618	145,574	643	155,401	668	165,499	693	175,951
619	145,964	644	155,798	669	165,911	694	176,376
620	140,354	645	150,196	670	166,323	695	176,801
621	140,745	646	150,595	671	166,735	696	177,227
622	147,135	647	150,994	672	167,148	697	177,653
623	147,526	648	157,393	673	167,562	698	178,080
624	147,917	649	157,793	674	167,976	699	178,507
625	148,309	650	158,194	675	168,391	700	178,935

Tavola di R. Sängewald per la funzione di f(v) I valori di f(v) devono essere divisi per 100			
m/s	f(v)	m/s	f(v)
701	179,363	726	190,210
702	179,792	727	190,650
703	180,221	728	191,090
704	180,650	729	191,530
705	181,080	730	191,972
706	181,510	731	192,413
707	181,941	732	192,856
708	182,373	733	193,298
709	182,804	734	193,741
710	183,236	735	194,185
711	183,669	736	194,660
712	184,102	737	195,074
713	184,535	738	196,519
714	184,969	739	195,966
715	185,403	740	196,412
716	185,838	741	196,560
717	180,273	742	197,307
718	180,709	743	197,755
719	187,145	744	198,204
720	187,582	745	198,654
721	188,019	746	199,103
722	188,456	747	199,554
723	188,849	748	200,005
724	189,332	749	200,457
725	189,771	750	200,909

I valori della tabella possono essere ottenuti con buona approssimazione usando le seguenti formule (il risultato va poi diviso per 100):

Da 0 a 200 m/s

$$F(v)= 0.0059433825 - 0.00020911033*v + 0.0001202547 *v^2$$

Da 200 a 350 m/s

$$F(v) = \frac{-4,1427168 \cdot V}{-384,66374 + V}$$

Da 350 a 500/m/s

$$F(v)= -97,241553 + 0,39411203 \cdot V$$

Da 500 a 1000 m/s

$$f(v) = 0.002513383 \cdot V^{1,7094691}$$

II

Curva di resistenza di una palla sferica da 1,4 cm di diametro

Mach	Cx	Mach	Cx	Mach	Cx
0.00	0.4662	1.35	0.9990	2.70	0.9730
0.05	0.4689	1.40	1.0030	2.75	0.9710
0.10	0.4717	1.45	1.0060	2.80	0.9690
0.15	0.4745	1.50	1.0080	2.85	0.9670
0.20	0.4772	1.55	1.0090	2.90	0.9650
0.25	0.4800	1.60	1.0090	2.95	0.9630
0.30	0.4827	1.65	1.0090	3.00	0.9610
0.35	0.4852	1.70	1.0090	3.05	0.9589
0.40	0.4882	1.75	1.0080	3.10	0.9570
0.45	0.4920	1.80	1.0070	3.15	0.9555
0.50	0.4970	1.85	1.0060	3.20	0.9540
0.55	0.5080	1.90	1.0040	3.25	0.9520
0.60	0.5260	1.95	1.0025	3.30	0.9500
0.65	0.5590	2.00	1.0010	3.35	0.9485
0.70	0.5920	2.05	0.9990	3.40	0.9470
0.75	0.6258	2.10	0.9970	3.45	0.9450
0.80	0.6610	2.15	0.9956	3.50	0.9430
0.85	0.6985	2.20	0.9940	3.55	0.9414
0.90	0.7370	2.25	0.9916	3.60	0.9400
0.95	0.7757	2.30	0.9890	3.65	0.9385
1.0	0.8140	2.35	0.9869	3.70	0.9370
1.05	0.8512	2.40	0.9850	3.75	0.9355
1.10	0.8870	2.45	0.9830	3.80	0.9340
1.15	0.9210	2.50	0.9810	3.85	0.9325
1.20	0.9510	2.55	0.9790	3.90	0.9310
1.25	0.9740	2.60	0.9770	3.95	0.9295
1.30	0.9910	2.65	0.9750	4.00	0.9280

III

Cx secondo la legge di Eberhard/Sängewald e di Majevski

Mach	m/s	Cx Eberhard	Cx Majevski
0,1	34	0,194	0,228
0,2	68	0,194	0,228
0,3	102	0,194	0,228
0,4	136	0,194	0,228
0,5	170	0,194	0,228
0,6	204	0,195	0,228
0,7	238	0,198	0,228
0,8	272	0,216	0,259
0,9	306	0,268	0,313
1	340	0,463	0,430
1,1	374	0,598	0,573
1,2	408	0,632	0,626
1,3	442	0,647	0,643
1,4	476	0,652	0,643
1,5	510	0,651	0,643
1,6	544	0,644	0,643
1,7	578	0,635	0,633
1,8	612	0,624	0,623
1,9	646	0,611	0,613
2	680	0,602	0,603
2,1	714	0,592	0,594
2,2	748	0,583	0,586
2,3	782		0,578
2,4	810		0,571
2,5	850		0,559
2,6	884		0,549
2,7	918		0,540
2,8	952		0,531
2,9	980		0,521

IV

Temperature medie annuali alle varie altitudini

Altitudine m	Temperature C,	Altitudine m	Temperature C,
0	+11,2	8000	-37,9
500	+9,4	8500	-41,3
1000	+7,6	9000	-44,8
1500	+5,3	9500	-47,7
2000	+2,5	10000	-50,3
2500	- 0,3	11000	-54,6
3000	- 3,0	12000	-56,2
3500	- 6, 0	13000	-56,6
4000	- 9,1	14000	-55,2
4500	-12,5	1 5000	-55
5000	-15,8	16000	-54,5
5500	-19,4	17000	-54,3
6000	-23,1	18000	-54,4
6500	-26,6	20000	-53,8
7000	-30,3		
7500	-34,2		

V

Densità medie dell'aria in kg/m^3 secondo l'altitudine

Alt/m	δ/kg	Alt/m	δ/kg
0	1,2460	8000	0,5295
500	1,1790	8500	0,5002
1000	1,1170	9000	0,4702
1500	1,0593	9500	0,4434
2000	1,0063	10000	0,4159
2500	0,9553	11000	0,3627
3000	0,8592	12000	0,3137
3500	0,8592	13000	0,2683
4000	0,8166	14000	0,2272
4500	0,7738	15000	0,1953
5000	0,7338	16000	0,1656
5500	0,6959	17000	0,1428
6000	0,6596	18000	0,1214
6500	0,6258	19000	0,1038
7000	0,5930	20000	0,0889

VI

Pressione media alle diverse altitudini

Altitudine m.	Pressione mm.	Altitudine m.	Pressione mm.
0	762,0	2600	554,0
100	752,8	2700	547,0
200	743,7	2800	540,1
300	734.7	2900	533,3
400	725,8	3000	526,6
500	717,0	3100	520,0
600	708,3	3200	513,4
700	699,7	3300	506,9
800	691,3	3400	500,5
900	683,0	3500	492,2
1000	674,8	3600	488,0
1100	666,7	3700	481,9
1200	658,6	3800	475,8
1300	650,6	3900	469,7
1400	642,7	4000	463,6
1500	634,9	4100	457,6
1600	627,2	4200	451,6
1700	619,6	4300	445,7
1800	612,0	4400	439,8
1900	604,5	4500	434,0
2000	597,1	4600	428,3
2100	589,8	4700	422.6
2200	582,5	4800	417,0
2300	575,3	4900	411,4
2400	568,1	5000	405,8
2500	561,0		

TRAIETTORIA CAMPIONE

Altezza	Ramo ascendente						Ramo discendente					
y	x	t	$\dot{x}$	$\dot{y}$	v	θ	x	t	$\dot{x}$	$\dot{y}$	v	θ
(m)	(m)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	gradi	(m)	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	gradi
2222	4578	20,24	200,0	0	200,0	0	4578	20,24	200,0	0	200,0	0
2217	4377	19,24	201,7	9,8	201,9	2,8	4777	21,24	198,3	9,8	198,5	2,8
2202	4175	18,24	203,5	19,7	204,5	5,5	4976	22,24	196,7	19,5	197,7	5,7
2178	3972	17,25	205,3	29,7	207,4	8,2	5173	23,25	195,0	29,1	197,2	8,5
2144	3768	16,26	207,2	39,6	211,0	10,8	5368	24,26	193,2	38,7	197,0	11,3
2111	3612	15,51	208.7	47,3	214,0	12,8	5516	25,04	192,1	46,0	197,5	13,5
2000	3203	13,57	212,6	67,4	223,0	17,6	5899	27,04	188,8	64,8	199,6	18,9
1889	2885	12.09	215,9	83,0	231,3	21,0	6188	28,58	186,2	78,9	202.2	23,0
1667	2377	9,77	221,7	108,6	246,9	26,1	6642	31,05	181,9	101,1	208,1	29,1
1444	1958	7,89	227,2	129,5	261,5	29,7	7006	33,08	178,3	118,6	214,1	33,6
1111	1419	5,58	236,1	157,8	284,0	33,8	7460	35,65	173,6	140,3	223,2	38,9
556	662	2.48	254,8	201,8	325,0	38,4	8070	39,24	166,2	168,9	237,0	45,4
0	0	0	286,0	252,6	381,6	41,4	8571	42,32	159,3	191,5	249,1	50,2

Questa è una tabella di dati campione, da usare per calcoli di controllo. È la traiettoria di un proiettile di 10 cm di calibro, peso circa 15 kg, angolo di partenza di 41,4° e V_0 = 381,6 m/s. La densità atmosferica è stata calcolata con la formula di Everling, con temperatura costante. I simboli x ed y con un puntino sopra indicano le componenti della velocità . Per leggere la tabella si part dal basso a sinistra. (Da Athen. *Ballistik*).

CALCOLO DELL'INTERA TRAIETTORIA CON METODO GRAFICO

Quanto abbiamo appreso nei primi tre capitoli ci permette già di calcolare, con una accettabile approssimazione, la traiettoria di qualunque proiettile, noti solamente la velocità iniziale, l'angolo di proiezione e le caratteristiche del proiettile stesso.

Un sistema che ci consente questo risultato è quello grafico di Brauer[1].

Abbiamo visto come l'aria eserciti una forza ritardatrice sul proiettile e abbiamo imparato a calcolare l'entità di questa forza. Volendo ora conoscere la velocità del proiettile dopo un certo tempo di volo, ad esempio dopo un secondo, non è possibile detrarre semplicemente dalla velocità iniziale la ritardazione corrispondente a tale velocità poiché, via via che la velocità diminuisce, cala anche la resistenza dell'aria ed il calcolo esatto della diminuzione di velocità comporterebbe il ricorso a matematiche superiori.

Non si commetterà però un grande errore se, invece di assumere la ritardazione corrispondente alla velocità iniziale, si assumerà per essa un valore medio, corrispondente ali'incirca al valore aritmetico medio della velocità nel tempo considerato

$$V_m = \frac{1}{1}(V_0 + V_1)$$

così che anche il vettore della ritardazione media sarà intermedio rispetto ai vettori corrispondenti a V_1 e V_0 .

I parametri di questo vettore, direzione e dimensione, possono essere ricavati agevolmente con una semplice costruzione grafica.

---

[1] A. Brauer, *Anleitung zur graphischen Ermittlung der Flugbahn eines Geschosses*, Karlsruhe 1918

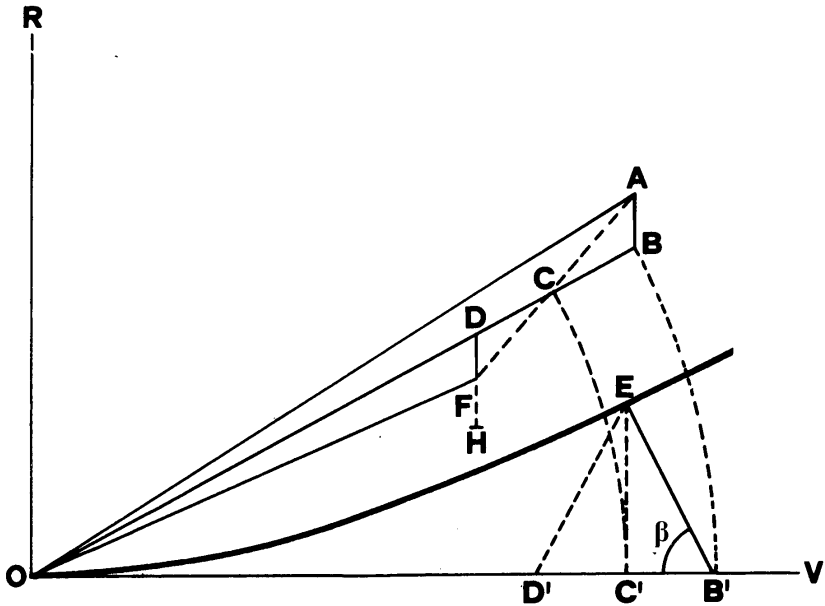



Fig. 1

La figura 1 riporta sull'asse delle ascisse le velocità e su quello delle ordinate le ritardazioni. Per un determinato tipo di proiettile si è supposta già calcolata e si è riportata la curva delle ritardazioni, con il metodo già illustrato nel capitolo precedente. In figura, sia OA il vettore che rappresenta, in entità e direzione, la velocità iniziale del proiettile. Si voglia trovare l'analogo vettore velocità alla fine del primo secondo di volo. Dopo mezzo secondo di volo il proiettile, per la legge dei gravi, avrà raggiunto una velocità di caduta pari a

$$AB = \frac{g}{2} = 4{,}0\ m/s$$

Eseguendo la somma dei vettori, OB rappresenterà quindi la velocità media durante il primo secondo di volo, nel vuoto. Per ottenere la velocità finale dopo un secondo dovremo detrarre da OB una certa ritardazione dovuta alla resistenza atmosferica: indichiamola con BD, riservandoci di illustrare in un secondo tempo il

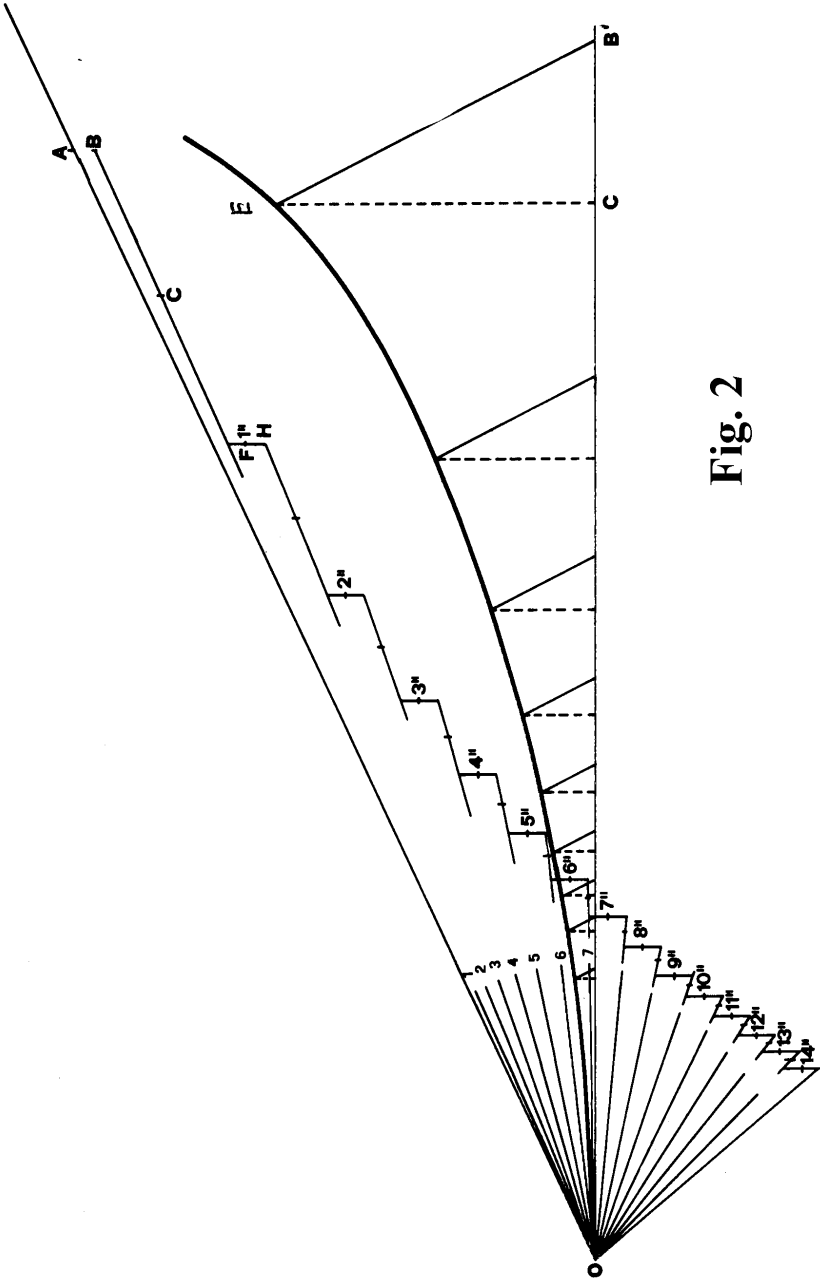



Fig. 2

procedimento seguito per ricavarne l'entità. Dal punto D abbassiamo un tratto verticale DF=AB; OF rappresenterà vettorialmente la velocità al termine del primo secondo. In realtà si è commesso un errore, in quanto avremmo dovuto abbassare DF partendo da B, ma si tratta di un'approssimazione accettabile, considerato che la caduta per gravità raggiunge velocità assai inferiori a quella di volo.

La velocità media dopo il primo secondo di volo atmosferico, quindi, non sarà più OB, ma O , che si ricava dividendo per due il tratto BD; il punto C si ottiene unendo A ad F .

La ritardazione BD corrisponderà, con buona approssimazione, a quella relativa alla velocità media OC.

Se facciamo centro in O tracciando un arco di raggio OC incontreremo l'asse delle velocità nel punto C; a questa entità di velocità corrisponderà una ritardazione di entità pari a BD. Per ricavarla occorrerà costruire il triangolo isoscele di base pari all'altezza D'EB', in cui DB = D'B' = EC'. Ebbene, un triangolo di tali caratteristiche si ottiene quando l'angolo di base β ha tangente uguale a 2 e cioè

$$B = 63° 26'$$

In pratica si procederà nel modo seguente.

Non è necessario tracciare tutte le linee di cui alla figura (1), che finirebbero per sovrapporsi. E' conveniente usare carta millimetrata che facilita molto il lavoro; su di essa e scegliendo una scala adeguata, ma piuttosto piccola (ad esempio di 1:1000) si tracceranno l'asse delle ascisse per la velocità e quello delle ordinate per la ritardazione.

Applicando le nozioni apprese nel capitolo precedente, si calcolerà la ritardazione del proiettile alle varie velocità, ad esempio ogni 50 m/s di incremento (ma in prossimità della velocità del suono potrà essere consigliabile assumere intervalli più brevi) e si traccerà così la curva della ritardazione in funzione della velocità.

Dopo si procederà come segue: dal punto A si abbassa il tratto AB che con scala 1:1000 sarà pari a mm.4,9; con l'aiuto di un righello (il compasso ha un braccio troppo corto), si riporta OB' = OB e si traccia un angolo di 63°26' fino ad incontrare la curva delle ritardazioni nel punto E. Si ricava quindi C'. Con il righello si riporta su OB OC'= OC e si trovano i punti D ed F. Si misura OF

e il valore trovato, rapportato alla scala 1:1000, sarà la richiesta velocità finale dopo un secondo di volo. Dal punto F si abbassa di nuovo un tratto perpendicolare di mm. 4,9 (ed anzi, al fine di accelerare il lavoro, quando si traccia DF conviene tracciare direttamente il tratto DH lungo mm.9,81) e si procede come prima per ottenere la velocità V alla fine del 2° secondo.

La curva congiungente i vertici dei vettori che hanno origine dal punto O prende il nome di *odografa* e riveste grande importanza negli studi di balistica razionale e di meccanica.

Vediamo ora un esempio pratico.

Sia da calcolare la traiettoria di un proiettile cal. 9 mm. parabellum del peso di 8 g., sparato con la velocità iniziale di 327 m/s e con un angolo di proiezione di 24°.

Tracciata in fig.2 la linea delle ascisse e la linea di proiezione, si riporterà su di questa, in scala, il tratto OA pari a 327 metri. Dopo di ciò si procederà al calcolo della curva di ritardazione. Posto che il coefficiente di forma sia pari ad 1 e utilizzando le tavole di Sängewald si avrà

$$\text{cb} = \frac{0{,}9^2}{4} \cdot 3{,}14 \cdot 1 = 0{,}636$$

$$Rit = \frac{cb \cdot 9{,}81}{0{,}008} f(v) = 780 \cdot f(v)$$

Si otterrà, quindi, per una serie di velocità, la relativa ritardazione

V m/s	Rit. m/s^2
30	0,83
50	2,32
70	4,54
90	7,51
…...	…..
260	67
280	83
300	108

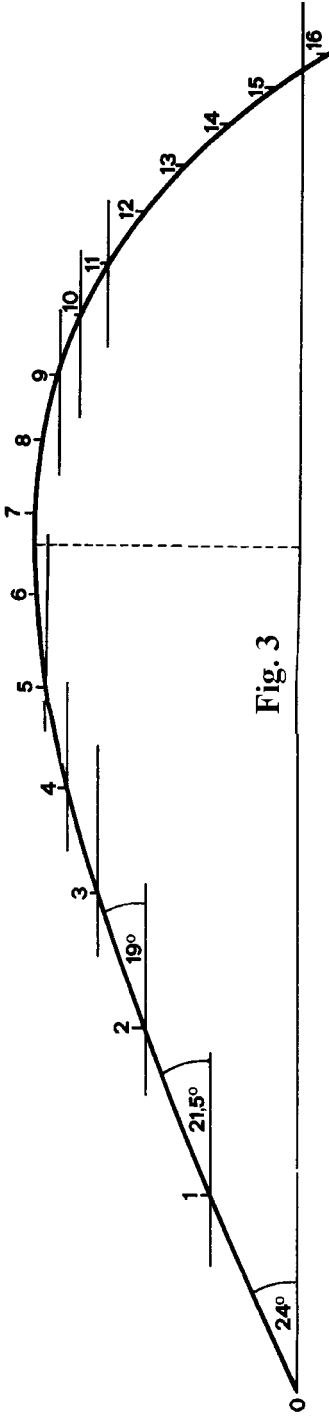



Fig. 3

Questi valori, riportati rispettivamente sull'asse delle ascisse e delle ordinate, consentiranno di tracciare la curva visibile in figura. Dopo di ciò si procede come già descritto, individuando il punto B, riportando OB = OB', fino a ricavare il punto C sul tratto OB.

Il tratto OC, misurato, ci darà la velocità media del proiettile durante il primo secondo di volo e, quindi, l'arco di traiettoria percorso in tale spazio di tempo.

Il tratto OF, misurato, ci darà invece la velocità finale del proiettile dopo un secondo di volo.

Dal punto F si ripartirà, per calcolare i dati relativi al successivo secondo di volo, e così via, come mostrato in figura, fino a che velocità media e velocità finale finiranno per coincidere. Per il prosieguo del calcolo è necessario misurare anche la inclinazione dei vettori delle velocità medie rispetto all'ascissa (ad esempio per il primo, l'angolo AOB).

I valori ricavati in figura saranno

Sec.	V. media m/s	V. fin. m/s	Angolo gradi
1	282	235	+24
2	213	189	+21,5
3	173	156	+19
4	144	132	+15,5
5	123	115	+11,5
6	108	101	+ 6,5
7	96	90	+ 1
8	87	84	- 5
9	80	78	-12
10	76	75	-19
11	75	73,5	-26
12	73	73	-33
13	73	73	-39
14	73	73	-45
15	73	73	-50
16	73	73	-56

I valori delle velocità finali così trovati corrispondono quasi perfettamente con i valori riportati in letteratura.

Per costruire ora la traiettoria del proiettile, sarà sufficiente tracciare, uno di seguito all'altro, secondo l'entità e la direzione, i singoli vettori delle velocità medie.

Naturalmente bisognerà scegliere una scala che consenta di contenere il tracciato entro il foglio (ad es. 1:5.000). Come mostrato in figura 3 si riporterà il primo vettore O-1 pari a 282 m/s e formante un angolo di 24° con l'asse delle ascisse; dal punto 1 si riporterà il vettore 2, pari a 213 m/s e formante un angolo di 21,5° con il piano, e così via fino a raggiungere di nuovo l'asse delle ascisse dopo 15,6 secondi di volo.

I dati ottenuti, raffrontati con quelli riportati in letteratura sono ottenuti in letteratura

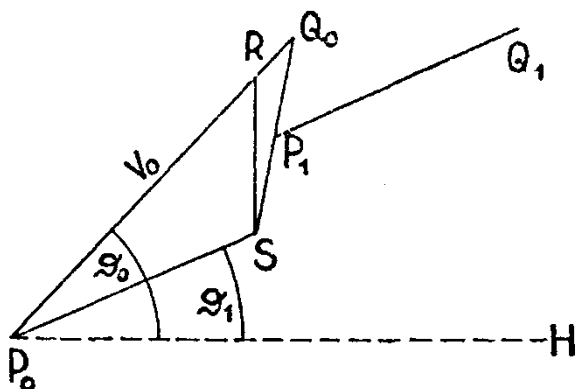
gittata	1590 m.	1460 m.
ascissa al vertice	1025 m.	930 m.
ordinata "	310	300
tempo di volo	15,6"	14,6"
angolo caduta	56°	60°
velocità caduta	73 m/s	65 m/s

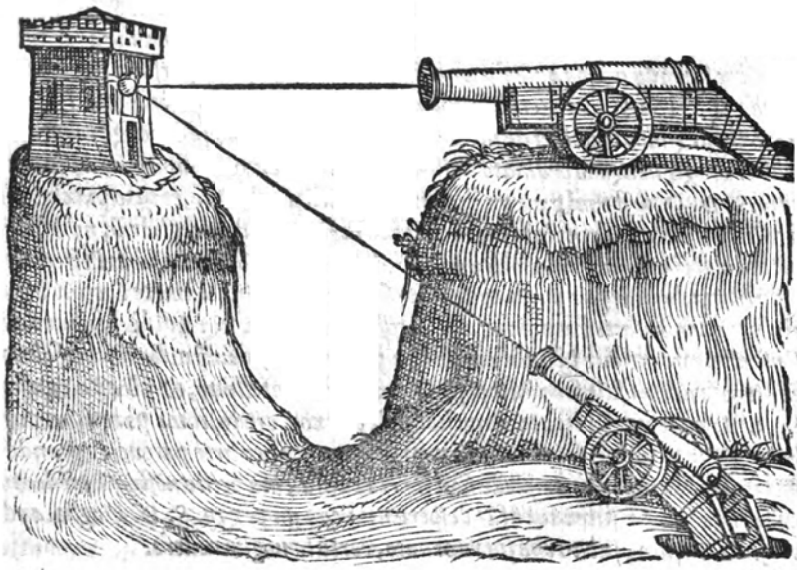
Come si vede lo scarto, specialmente considerando il tipo di traiettoria con elevato angolo di proiezione, è del tutto accettabile e migliorabile con una più precisa individuazione del coefficiente di forma.

Nel tracciare il disegno non occorre necessariamente procedere per intervalli di un secondo, ma possono scegliersi intervalli maggiori o minori, in modo da dividere la traiettoria in almeno 12-15 tratti. Dovendo procedere, ad esempio, al calcolo della gittata massima di un proiettile da moschetto, potrebbe essere utile calcolare la diminuzione di velocità ogni due secondi; naturalmente in tal caso, raddoppiando l'intervallo di tempo, bisognerebbe raddoppiare il tratto AB e i valori della ritardazione sulle ordinate; se si procedesse di mezzo secondo in mezzo secondo, occorrerebbe dimezzare detti valori.

II sistema si presta anche al calcolo della traiettoria di proiettili d'artiglieria; questa normalmente raggiunge altezze notevoli e non è lecito quindi trascurare la diminuzione della densità dell'aria. Un risultato accettabile si otterrà introducendo nella formula per il calcolo della ritardazione un valore della densità dell'aria ottenuto facendo la media aritmetica tra il valore al suolo ed il valore al vertice.

Il metodo Vahlen

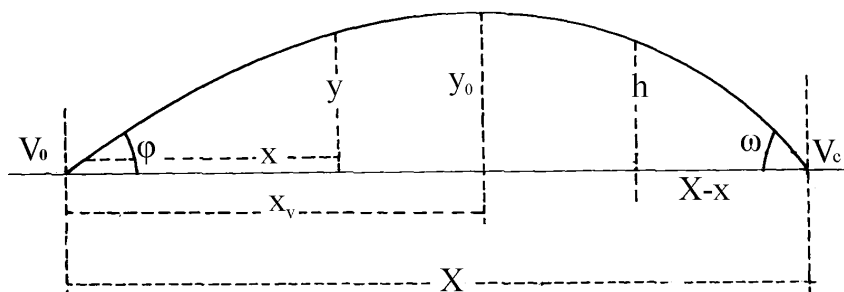
Un altro metodo riportato da molti testi è quello di Th.Vahlen[1], semplice ed efficace. Esso, come il precedente, viene riportato non tanto per la sua utilità, ormai largamente superata dai mezzi elettronici, ma perché consente di comprendere meglio i metodi della balistica. Il metodo disegna graficamente brevi tangenti alla traiettoria, unite una all'altra. La costruzione si ricava dalla figura:

P_0Q_0 sia il vettore per direzione e grandezza della velocità v_0 in P_0 e angolo di proiezione θ_0. Da Q_0 si detrae la ritardazione R; R è il punto su cui agisce la forza di gravità *g* rappresentata dal tratto RS (ovviamente nel disegno non in scala). Sarà ora $P_0S = v_1$ e cioè la velocità iniziale del secondo tratto e finale del primo tratto. L'effettivo percorso in un secondo sarà dalla velocità media sul tratto. Se si divide in due il segmento Q_0S il tratto P_0P_1 corrisponderà al primo tratto della traiettoria. Se ora da P_1 si ripete la procedura con un nuovo tratto P_1Q_1 e angolo di proiezione θ_1 si otterrà il secondo tratto della traiettoria. E così via utilizzando, se del caso, diversi parametri per la densità dell'atmosfera.

[1] Vahlen, *Grafisches Verfahren*, Art. Mon. Hefte, 136/37, 1918.

Da Tartaglia, *Quesiti et invenzioni diverse*

FORMULE APPROSSIMATE GENERALI

Molte volte nell' eseguire un calcolo balistico non si ricerca un risultato preciso, ma solo un'indicazione orientativa ed approssimata. In tal caso soccorrono delle formule con cui, noti alcuni dati della traiettoria, si può agevolmente risalire a dati ignoti. In genere trattasi di formule derivate da quelle già viste per la traiettoria nel vuoto e perciò essere daranno risultati tanto più vicini al reale, quanto più la traiettoria del proiettile, sia per la sua brevità, sia per la sua pronunciata tensione, sia per la pesantezza del proiettile, si avvicina alla traiettoria parabolica.

Nella tavola 1 sono state calcolate con esattezza quattro traiettorie di tre proiettili diversi ed i vari dati sono raffrontati con quelli ricavati applicando le formule in esame, così che il lettore possa rendersi conto da solo del grado di approssimazione raggiungibile nei vari casi.

Gli esempi sono calcolati per un proiettile di artiglieria da 75 mm. con $V_0 = 260$ m/s i cui dati esatti di traiettoria sono i seguenti:

Angolo di proiezione	φ	10°
Velocità al vertice	V_v	240 m/s
Ascissa al vertice	x_v	1102 m
Ordinata al vertice	y_v	99 m
Gittata	X	2160 m
Tempo totale di volo	T	9"
Velocità di caduta	v_c	230 m/s
Angolo di caduta	ω	10°50'

Formule relative al ramo ascendente

I) Ordinata *y* per una distanza *x* non troppo grande

$$y = x \cdot tang\ \varphi - \frac{g}{2} t^2$$

E cioè la formula valida per il vuoto.

Esempio: dato x = 618 e t = 2,46 s

$$y = 618 \cdot tang 10° - 2{,}46^2 = 19{,}28 \text{ m}$$

II) Angolo di proiezione nota la gittata massima

In via di approssimazione può adottarsi la formula per il vuoto

$$sen\ 2\varphi = \frac{X}{X_{max}}$$

III) Angolo di proiezione noto il tempo di volo T = 9 secondi.

$$sen\ \varphi = \frac{g \cdot T}{3} \cdot \left(\frac{T}{2X} + \frac{1}{V_0}\right)$$

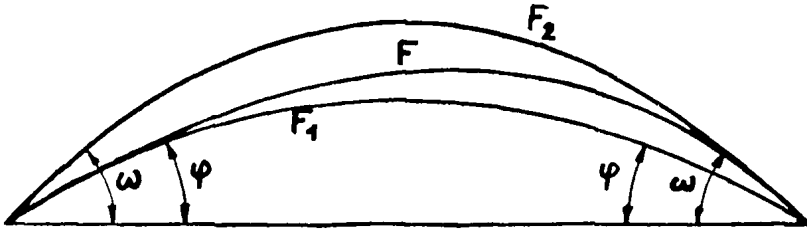
Esempio:

$$sen\ \varphi = \frac{9{,}81 \cdot 9}{3} \cdot \left(\frac{9}{2 \cdot 2160} + \frac{1}{260}\right) = 0{,}1745;\ \varphi = 10''\ 2'$$

È appena il caso di ricordare che per distanze x non troppo grandi e per traiettorie tese, i valori di x e y potranno essere ricavati l'uno dall'altro considerando che essi sono i cateti di un triangolo rettangolo in cui la traiettoria si identifica con l'ipotenusa.

Formule relative al vertice della traiettoria

IV) Ordinata massima

Caratteristica della traiettoria di un proiettile nell'aria (F) è di correre tra la parabola (cioè la traiettoria nel vuoto) avente la medesima gittata (F_1) e lo stesso angolo di proiezione e la parabola avente la medesima gittata e il medesimo angolo di caduta (F_2).

Poiché nel vuoto si ha

$$y_v = \frac{X}{4} tang\ \varphi$$

ciò significa che nell'aria l'ordinata massima sarà compresa tra il valore della ordinata massima della parabola con angolo di proiezione φ e dell'ordinata massima della parabola con angolo di caduta ω. Sarà quindi:

$$\frac{X}{4} tang\ \varphi < y_v < \frac{X}{4} tang\ \omega$$

Facendo la media aritmetica tra i due valori si otterrà in genere un risultato soddisfacente.

Esempio:

$$y_v = \frac{\frac{2160}{4} tang\ 10° + \frac{2160}{4} tang\ 10°50'}{2} = 99{,}27$$

Una maggior precisione si ottiene calcolando la media aritmetico-geometrica, consigliabile in ogni caso.

Si fa cioè prima la media aritmetica e poi la media geometrica dei due valori; poi si calcola la media aritmetica e la media geometrica dei valori trovati e così via fino a che i due valori coincidono. Si ricorda che le formule per la media aritmetica e la media geometrica sono rispettivamente

$$M_a = \frac{a+b}{2} \qquad M_g = \sqrt{a \cdot b}$$

V) Formula di Haupt - Ordinata massima, noto il tempo di volo.

Nel vuoto si ha

$$y_v = 1{,}25 \cdot T^2$$

in cui 1,25 è pari a 1/4 dell'accelerazione di gravità.

Questa formula conserva piena validità anche nell'aria.

Esempio:

$$y_v = 1{,}25 \cdot 9^2 = 101{,}25\ m$$

VI) Ordinata massima, nota la gittata e gli angoli φ e ω

$$y_v = \frac{X}{2\left(\frac{1}{tang\varphi} + \frac{1}{tang\omega}\right)}$$

Esempio:

$$y_v = \frac{2160}{2\left(\frac{1}{tang10°} + \frac{1}{tang10°50'}\right)} = 99\ m$$

VII) Ascissa del vertice, nota la gittata.

In via molto approssimativa può ritenersi

$$x_v = \frac{X}{2} \cdot 1{,}1$$

Esempio

$$x_v = \frac{2160}{2} \cdot 1{,}1 = 1188$$

VIII) Ascissa del vertice nota la gittata e la velocità iniziale,

$$x_v = X\left(0{,}5 \cdot \frac{V_0}{10000}\right)$$

Esempio

$$x_v = 2160\left(0{,}5 \cdot \frac{2600}{10000}\right) = 1136\ m$$

Anche questa formula è molto approssimativa e, come la precedente, più indicata per proiettili di artiglieria che per quelli delle armi leggere.

IX) Ascissa del vertice noti X, y_v e φ

$$x_v = \frac{X}{4} \cdot (y_v) \cdot \cot\varphi$$

Esempio:

$$x_v = \frac{2160}{4} \cdot (99 \cdot \cot 10°) = 1114\, m$$

Si ricorda che

$$cot\varphi = tang(90° - \varphi)$$

Nella formula può naturalmente sostituirsi ad y_v il valore 1,23 * T^2 nel caso che sia noto solo il tempo di volo.

X) Analoga è la formula

$$x_v = \frac{1}{2}X + \frac{1}{4}y_v \cdot \left(cot\frac{1}{2}\vartheta - cot\frac{1}{2}\omega\right)$$

XI) Velocità del proiettile al vertice

Una buona approssimazione è data dalla formula

$$v_v = \frac{X}{7}$$

Esempio:

$$v_v = \frac{2160}{7} = 240\, m/s$$

Formule relative al ramo discendente della traiettoria

XII) Angolo di caduta noti T, X, v_c

$$sen\ \omega = \frac{gT^2}{3} \cdot \left(\frac{T}{2X} + \frac{1}{v_c}\right)$$

Esempio:

$$sen\ \omega = \frac{9{,}81 \cdot 9}{3} \cdot \left(\frac{9}{2 \cdot 2160} + \frac{1}{230}\right);\ \omega = 10°\, 54'$$

XIII) Angolo di caduta noti X, y_v ,φ

$$cot\omega = \frac{X}{2y_v} - cot\varphi$$

Esempio

$$cot\omega = \frac{2160}{2 \cdot 99} - cot10°;\ \omega = 10°48'$$

In luogo di y_v si può inserire il valore 1,22 * T^2

XIV) Velocità di caduta

Una sufficiente approssimazione può ottenersi con la formula

$$v_c = \frac{gT}{2\ sen\omega} - \ 5\%$$

XV) Ascissa di un punto qualunque nota l'ordinata h, X e ω

$$(X - x) = h\left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{h \cdot cot\omega}{X}\right) \cdot cot\omega$$

Esempio:

$$(X - x) = 55h\left(1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{55 \cdot \cot 10°\ 50'}{2160}\right) \cdot cot10°50' = \ 349\ m$$

XVI) Ascissa di un punto qualunque nota l'ordinata h, y_v e ω

$$X - x = h\left(1 + \frac{h}{3y_v}\right) \cdot cot\omega$$

Esempio:

$$X - x = 55h\left(1 + \frac{55}{3 \cdot 99}\right) \cdot cot10°50' = 340\ m$$

XVII) Ordinata di un punto qualunque noti X, x e ω

$$h = \frac{x}{X}(X - x) \cdot tang\ \omega$$

$$h = \frac{349}{2160}(2160 - 349) \cdot tang\ 10°50' = 60\ m$$

XVIII) Tempo di volo fino ad un punto qualunque del ramo discendente

$$t = T\left(1 - 0{,}9\frac{h}{x}cot\varphi\right)$$

Esempio

$$t = 9\left(1 - 0{,}9\frac{55}{1811}cot10°\right) = 7{,}6\ s$$

Formule per tratti del ramo discendente prossimi al punto di caduta

In questa ipotesi la traiettoria può assimilarsi alla sua tangente nel punto di caduta e le formule XV e XVI possono così semplificarsi

XIX) $h = (X-x).tang\omega$

XX) $(X-x) = h.\cot \omega$

Poiché nell'ultimo tratto della traiettoria la resistenza dell'aria influisce meno che non all'origine, così che la velocità del proiettile può quasi ritenersi costante, si può ottenere una rappresentazione della traiettoria molto prossima al vero sostituendo a questo tratto la parabola che il proiettile percorrerebbe nel vuoto se fosse sparato dal punto di caduta con l'angolo di proiezione eguale ad ω .

Sia ad esempio da tracciare l'ultimo tratto della traiettoria di un proiettile avente una velocità di caduta pari a 250 m/s e $\omega = 45°$; la traiettoria negli ultimi tre secondi di volo sarà ben rappresentata dalla fig.(1).

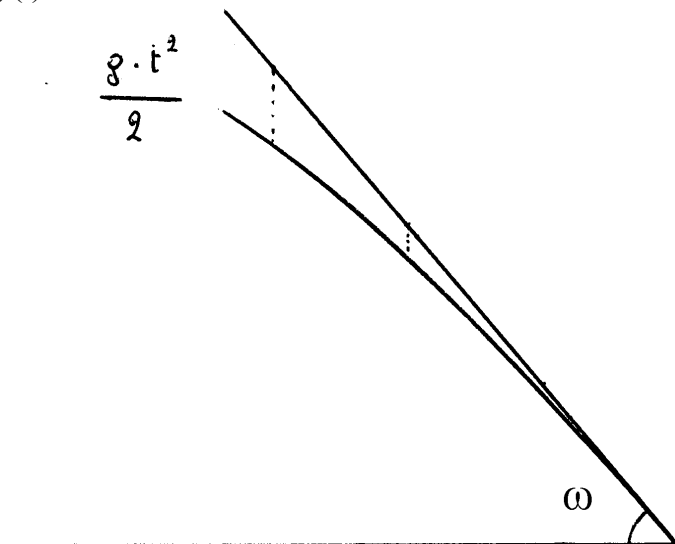



Fig. 1

Formule per l'intera traiettoria

XXI) Tempo totale di volo

$$T = \frac{X}{2}\left(\frac{1{,}1}{V_0} + \frac{0{,}9}{V_c}\right)$$

Esempio

$$T = \frac{2160}{2}\left(\frac{1{,}1}{260} + \frac{0{,}9}{230}\right) = 8{,}8\ s$$

XXII) Tempo totale di volo

$$T = \frac{1}{2}\sqrt{X \cdot tang\ \varphi}$$

XXIlI) Ordinata qualunque sia del ramo ascendente che discendente

$$y = \frac{x}{X}(X - x) \cdot tang\left[\varphi + \frac{x}{X}(\omega - \varphi)\right]$$

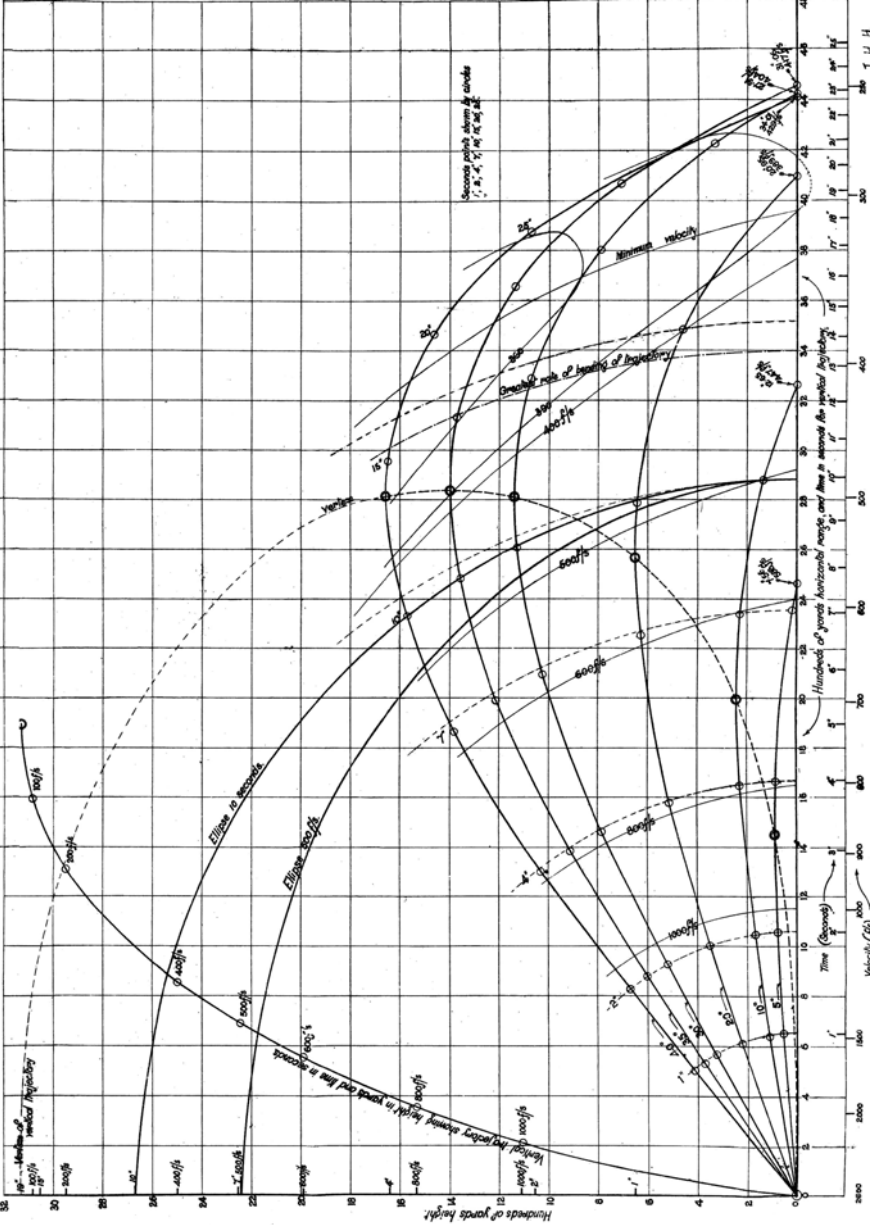
Esempio dati x=860, y=94, X-x= 1300

$$y = \frac{860}{2160} 1300 \cdot tang\left[10° + \frac{860}{2160}(10°50' - 10°) = 94\ m\right]$$

Tavola di raffronto tra i valori calcolati con le formule approssimate e i valori effettivi

Il proiettile cal.9 para si è supposto avere il peso di g. 8 e V_0 = 327 n/sec. La XII è calcolata per y_v

For.nr.		Cal.8x57		Cal.9 Para		Cal.7,5/φ=10°		Cal.7,5/φ=40°	
		calcolato	esatto	calcolato	esatto	calcolato	esatto	calcolato	esatto
1	y					79,3	79		
3	φ	2°47'	3°7'30"	9°48'	11°	10°2'	10°	45°8'	40°
4	y_v	38m	41	94	85	99,3	99	1251	1251
5	"	37,95	41	82	85	101	99	1237	1251
6	"	36	41	82	85	99	99	1255	1251
7	x_v	1100m	1168	660	740	1188	1102	2980	2833
8	"	1151	1168	639	740	1136	1102	2850	2833
9	"	1250	1168	737	740	1101	1102	2845	2833
10	"	1183	1168	724	760	1101	1102	2825	2833
11	V_v					240	239,6	170	170
12	ω	6°38'	6°6'	24°36'	25°	10°54'	10°50'	54°	5°25'
13	"	9°20'	6°6'	27°34'	25°	10°48'	10°50'	45°45'	45°25'
14	V_c	253	245	89	81	241	230	209	208
15	X-x					345	349	1298	1466
16	"					340	349	1298	1466
17	h					66	55	1084	1029
18	t					7",6	7",47	23"	22",35
21	T	5",7	5",51	8",6	8",1	8",8	9"	23"	31",92
22	T	5",22	5",51	7",6	8",1	9",75	9"	33",7	31",92
23	y	41,37m	41	101	85	99	99	1235	1231

Curve calcolate per V_0= 2600 f/s e CB 0,284 (legge di resistenza inglese) su 582 punti. Si noti come da 30° a 45° la gittata massima vari di poco, mentre varia in modo rilevante l'altezza del vertice.

TRACCIAMENTO GRAFICO DI UNA TRAIETTORIA ATMOSFERICA

Nel capitolo IV abbiamo visto come è possibile calcolare e tracciare l'intera traiettoria, noti solamente i dati relativi al proiettile e all'angolo di partenza.

In molti casi però la gittata, l'ordinata massima e l'angolo di proiezione, sono già noti o possono essere ricavati facilmente da altri fattori; eppure il tracciamento della intera traiettoria con assoluta precisione richiederebbe un notevole dispendio di tempo, dovendosi calcolare anche le ascisse e le ordinate di molti dei suoi punti con l'impiego di metodi matematici superiori alle conoscenze che abbiamo presupposto nel lettore. Esiste però un sistema che consente di tracciare la traiettoria conoscendo solamente l'angolo di proiezione, la gittata e il tempo di volo (oppure l'ordinata al vertice) del proiettile.

Una notevolissima approssimazione - più che sufficiente nella normalità dei casi - che consente una rappresentazione grafica della traiettoria ben aderente alla realtà, si ottiene con il sistema grafico semplificato con cui si assume che il ramo ascendente e quello discendente siano costituiti da due archi di parabola aventi eguale asse ed eguale vertice.

Più aderente alla realtà è il metodo Schmidt[1] che assimila la traiettoria ad una parabola (asimmetrica con asse inclinato) quale si avrebbe nel vuoto se il proiettile fosse assoggettato ad una forza costante, agente in direzione dell'asse della parabola e quindi trasversalmente. Questa forza può essere immaginata come la risul-

---

[1] Robert Schmidt, *Praktische Ballistik,* Berlin 1957

tante della forza di gravità effettiva e di un'altra forza diretta all'indietro e che rappresenta la resistenza dell'aria; sebbene questa forza, a differenza della resistenza dell'aria, sia immaginata come costante in grandezza e direzione, essa ben ne simula il risultato globale in quanto dedotta dal dato effettivo della gittata e della ordinata al vertice della traiettoria; la quale ordinata si ricava anche con buona approssimazione dal tempo totale di volo secondo la formula di Haupt:

$$y_v = 1{,}25 \cdot T^2$$

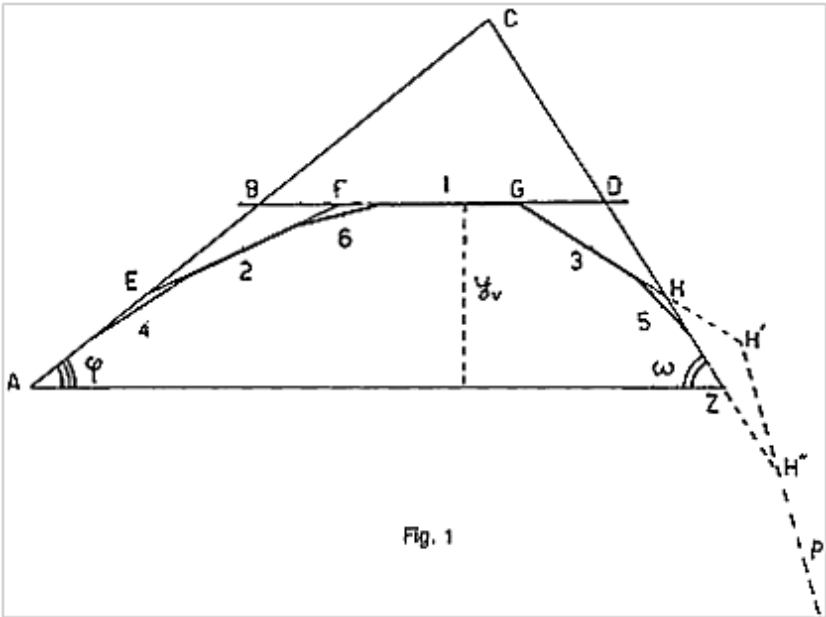



Fig. 1

Per il tracciamento grafico della curva, lo Schmidt fa uso della proprietà della parabola secondo cui la linea che congiunge la metà di due tratti di tangente, misurati dal punto di contatto al punto di incontro, è a sua volta una tangente della curva.

Si tracci in scala la linea AZ (fig.1) corrispondente alla gittata X del proiettile; in A si tracci l'angolo di proiezione φ . Alla distanza y_v , già nota o ricavata con la formula di Haupt, si tracci BD parallela ad AZ, si raddoppi quindi il tratto AB, così che sia AB=BC; la congiungente CZ sarà la tangente all'angolo di caduta ω che potrà essere misurato o calcolato trigonometricamente (vedi più sotto). La linea BD congiungente i punti intermedi delle tangenti AC e CZ, sarà a sua volta una tangente; il punto di contatto si otterrà

dividendo BD a metà e il punto -1- così ottenuto sarà il vertice della traiettoria.

Si dividano ora a metà i tratti A-B e B-1 del ramo ascendente e i tratti D-Z e D-l del ramo discendente, ottenendo i punti E-F-G-H-; si congiunga E con F e G con H e si dividano i segmenti così ottenuti a metà; i punti -2- e -3- così ottenuti saranno altri due punti di contatto di tangenti e quindi punti della parabola ricercata. Si dividano a metà i tratti 2-E ed A-E, e si congiungano i punti trovati; la metà della congiungente sarà un ulteriore punto della parabola. Allo stesso modo si procederà per il ramo discendente fino ad avere un numero sufficiente di punti (in genere 5 o 7) che, congiunti fra di loro, forniranno la traiettoria ricercata. Questa, per chiarezza, non è tracciata in figura.

Il disegno risulterà facilitato se si userà carta millimetrata, osservando che i punti E ed H e quelli successivi ricavandi sui tratti BA e DZ sono parti a 1/2, 1/4, 1/8 della altezza y_v

Nel caso si volesse proseguire la curva al di sotto della linea di orizzonte, come può richiedersi in alcuni casi, è agevole proseguire la costruzione considerando che, se si prolungano verso l'esterno i semi-segmenti di tangente sopra ricavati (ad esempio 3H) di una quantità eguale e si congiunge il punto H' trovato con il prolungamento ZH"=HZ, il punto P dato da H'H"=H"P sarà anch'esso un punto della curva.

Il sistema dello Schmidt consente . di raggiungere una ancor maggiore precisione se è noto anche l'angolo di caduta: è chiaro che in tal caso i due rami della traiettoria verranno costruiti separatamente tracciando la tangente CZ secondo l'angolo effettivo. Si può introdurre nel calcolo questo valore trovando prima il valore di y_v con la formula di Haupt e poi il valore di x_v con la formula approssimativa nr. IX. Si può così tracciare direttamente la tangente al vertice e incrociare con essa le tangenti all'origine e al punto di caduta. Poi si prosegue come indicato.

Non si paragonano una traiettoria tracciata con il sistema Schmidt ed una traiettoria reale poiché le differenze non sono graficamente apprezzabili.

Un briciolo di trigonometria

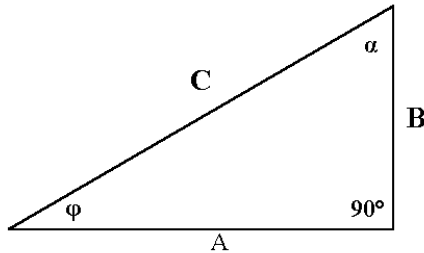
Ricordo che un angolo può essere disegnato con maggior precisione di quanto consenta un goniometro, costruendo, secondo le regole della trigonometria, il triangolo rettangolo di cui si conoscono un cateto e l'angolo che l'ipotenusa forma con esso fig.2)

Poiché b = tang φ, l'angolo φ sarà esattamente tracciato misurando una base qualunque A e innalzando la perpendicolare B. La congiungente C formerà con A l'angolo desiderato.

Esempio: sia da tracciare l'angolo 35°30'30 da cui tang = 0,7135;

posto A = 5 cm, sarà B = 0,7135 x 5 = 3,56 cm

Inversamente, ove si siano ottenuti graficamente i dati -A- e –B- l'angolo φ sarà dato dalla formula

$$tang\varphi = \frac{C}{A}$$

Riporto qui per comodità le formule trigonometriche relative ad un triangolo rettangolo

$$A = C \cdot sen\alpha = C \cdot cos\varphi$$
$$A = B \cdot tg\ \alpha = B \cdot \cot\varphi$$
$$B = C \cdot sen\varphi = C \cdot \cos\alpha$$
$$B = A \cdot tg\ \varphi = A \cdot \cot\alpha$$

Gli angoli potranno essere ricavati dalle singole formule; dalla prima si avrà ad es.

$$sen\alpha = \frac{C}{A} \text{ oppure } cos\varphi = \frac{C}{A} \text{ ecc.}$$

LA GITTATA MASSIMA

Nel vuoto la massima gittata si ottiene con un angolo di proiezione pari a 45°, nell'ipotesi che l'origine della traiettoria ed il bersaglio giacciono su uno stesso piano orizzontale. Nell'aria, invece, l'angolo di proiezione che consente di ottenere la gittata massima, può essere inferiore o superiore a 45°. Il valore di questo angolo dipende fondamentalmente dalla velocità iniziale del proiettile e dal suo coefficiente balistico.

La fig. 1 indica il valore dell'angolo di gittata massima per alcuni proiettili, in funzione della velocità. Per basse velocità l'angolo poco si discosta dai 45°. Con l'aumentare della velocità l'angolo decresce, raggiunge un minimo e poi cresce nuovamente. Per proiettili di grosso calibro e quindi di rilevante coefficiente balistico, l'angolo raggiunge un massimo attorno ai 1300 m/s di velocità iniziale, per poi decrescere nuovamente. Il fatto che in certi casi l'angolo ottimale possa superare i 45° si spiega considerando che, quando il proiettile in forza della velocità iniziale e del favorevole coefficiente balistico, ha una grande gittata e viene sparato con un angolo di proiezione sufficientemente grande, una gran parte della traiettoria percorre gli strati alti e rarefatti dell'atmosfera, nei quali la densità dell'aria è molto ridotta: in questa zona perciò la maggior gittata si otterrà con un angolo prossimo a 45°, come nel vuoto; considerando però la curvatura iniziale della traiettoria, l'angolo di proiezione dovrà essere maggiore di 45°. Se poi il proiettile ha velocità iniziali elevatissime, superiori a 1400 m/s, la traiettoria corre quasi interamente negli alti strati dell'atmosfera, ove vi è quasi il vuoto, e l'angolo ottimale non si discosta molto dai 45°.

Nel caso di armi portatili con scarsa densità sezionale (e quindi modesto coefficiente balistico) l'angolo ottimale è compreso tra i 30° ed i 35°, tenendo però ben presente che la gittata non cresce di molto oltre un certo angolo; così ad esempio un proiettile militare sovietico calibro 7,62x54, che con angolo di 35° raggiunge la gittata massima di 3650 m. con un angolo di 19°, raggiunge una gittata di circa 3500 m., inferiore di soli 150 metri a quella massima.

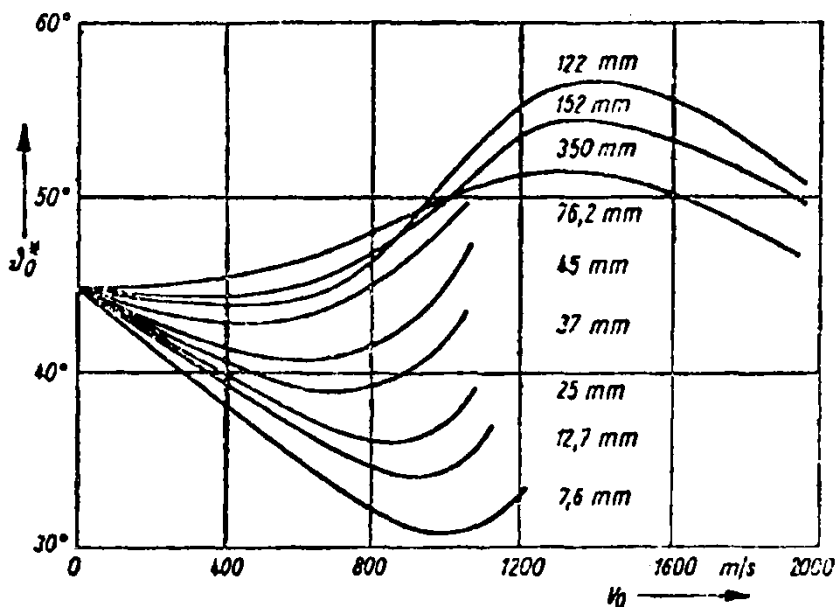



Fig. 1 - Angolo di proiezione, per una serie di proiettili, che consente di ottenere la gittata massima in relazione alla velocità iniziale (da G. Hauck).

In via molto approssimativa può usarsi la mia formula

$$X_{max} = 0{,}8 + \frac{P \cdot V^2}{i \cdot 40000C^2}$$

in cui P è il peso in grammi, V la velocità in m/s, C il calibro in millimetri ed *i* il fattore di forma. Essa è valida principalmente per proiettili oltre i 10 mm.

Un'altra formula approssimativa richiede la conoscenza della velocità iniziale e della velocità residua ad una data distanza y, che qui si assume eguale a 100 metri.

La gittata massima sarà data da

$$X_{max} = \frac{k \cdot V_{100}}{Cal_{mm}} \cdot \sqrt{\frac{P_{gr}}{V_0}}$$

in cui k è un coefficiente pari a 300 per proiettili da pistola e 380-400 per proiettili per fucile.

Ecco alcuni dati sperimentali

Calibro	**Velocità m/s**	**Gittata in m.**
4,5 mm aria compressa	120/165	100/150
4,5 mm aria compressa	200/250	200/300
6/9 mm Flobert	225	700
.22 corto	260	1000
.22 Long Rifle	350	1370
.22 Long Rifle HS	370	1500
.22 Winch. Magnum	610	1800
243 Winch.	1070	3200
6,35 mm	220	800
7,65 mm	285	1300
9 mm corto	285	1300
9 mm Para	350	1700
45 ACP	300	1620
30 M1Carb.	600	2000
7x70 mm	830	3500
8x57 mm JS	830	3500
6,5x57 mm	1020	4000
7x57 mm	850	4500
6,5x68 mm	1150	5000

Riporto infine un utile nomogramma che consente di calcolare i valori per la gittata massima. Non va bene per piccoli proiettili, perché il valore di ingresso nella tavola è troppo piccolo. Esso è tratto dal manuale della Rheinmetall e consente di calcolare graficamente e con buona approssimazione la gittata massima in relazione a calibro e peso del proiettile ed alla velocità iniziale.

Esso è basato su di un proiettile teorico (legge di resistenza della Rheinmetall) con Cx = 2 alle basse velocità, e Cx = 4 alle velocità supersoniche.

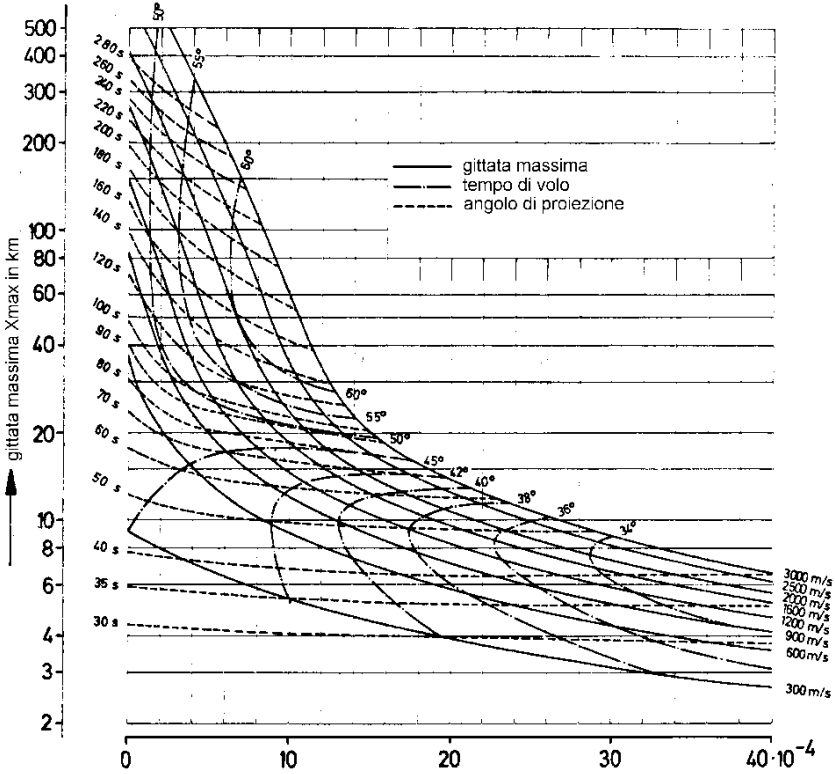
In rapporto alle leggi di resistenza su cui si basano le tavole usuali (Siacci, Sängewald) si ha i = 1 fino alla velocità di 320 m/s; da 360 m/s in poi si può assumere i = 1,5.

In relazione alla gittata massima individuata si può leggere poi l'angolo di proiezione che consente di ottenerla e il relativo tempo di volo.

Facendo un esempio pratico, si procederà così:

Calibro 26 mm (raggio 13 mm)
Peso 440 g.
Vo 600 m/s

Occorre trovare il valore da 0 a 40 con cui entrare nella tavola ed esso sarà dato dal fattore di forma i diviso per la densità sezionale Q (kg/mq); se il proiettile ha forma standard i=1 il valore ricercato è dato dal valore reciproco di Q. La superficie della sezione sarà data da 3,14 x 13^2 = 530 mm^2 e quindi il valore ricercato, moltiplicato per 10 al fine di eliminare inutili virgole, sarà dato da

$$\frac{10 \cdot i}{\frac{440}{530}} = 12$$

IL TIRO VERTICALE
E LA CADUTA LIBERA DEL PROIETTILE

Il tiro verticale rappresenta un caso particolare di traiettoria. La velocità decresce fino ad essere nulla al vertice della traiettoria (che è rettilinea non essendo perturbata dalla forza di gravità) e poi il proiettile procede (= ricade) per il solo effetto della forza di gravità.

Abbiamo già visto che nel vuoto l'altezza massima raggiunta dal proiettile è data dall'espressione

$$y_{max} = \frac{y_0^2}{2g}$$

Nell'aria l' altezza massima raggiunta da un proiettile può essere calcolata con la formula empirica

$$y_{max} = \frac{\sqrt{P \cdot V}}{Cal} \cdot costante$$

in cui il peso P è espresso in grammi, la velocità in m/s, il calibro in mm. e in cui la costante varia da 220 per proiettili appuntiti a 185 per proiettili a punta tonda.

In via estremamente approssimativa può ritenersi che l'altezza massima raggiunta sia pari al 70% della gittata massima.

Esempio :

Sia il proiettile militare tedesco cal. 8 x 57 JS con V_0 = 870 m/s e P = 10 g.

Secondo la formula citata sarà

$$y_{max} = \frac{\sqrt{10 \cdot 870}}{8} = 2565$$

del tutto corrispondente a quella sperimentale.

Per un proiettile cal. 9 Para in cui
V = 330 m/s e P = 8,5 g. cost. = 200

$$y_{max} = 1176$$

Il valore sperimentale è di 1143 m
Per un proiettile cal. 7.65 Br in cui
V = 300 m/s P = 4,8gr cost. = 200 si ottiene

$$y_{max} = 992$$

(valore sperimentale 932 m.)

Il tempo impiegato dal proiettile a raggiungere la sua altezza massima nell'aria può essere calcolato anch'esso con buona approssimazione usando la formula

$$t = 0{,}37\sqrt{y_{max}}$$

Ricordiamo che nel vuoto avremmo

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0{,}453\sqrt{y_{max}}$$

Ritornando agli esempi già proposti si avrà quindi:
Proiettile cal. 8 x 5,7

$$t = 0{,}37 \cdot \sqrt{2565} = 18{,}7\ s$$

Proiettile cal. 9 par.

$$t = 0{,}37 \cdot \sqrt{1143} = 12{,}5\ s$$

Proiettile cal. 7,65

$$t = 0{,}37 \cdot \sqrt{932} = 11{,}3\ s$$

La caduta libera del proiettile nell'aria richiede un esame più approfondito poiché il problema presenta anche interesse pratico per il balistico, prospettandosi sovente il quesito della lesività dei proiettili ricadenti.

Un corpo che cade nell'aria acquista una certa accelerazione per effetto della forza di gravità e procede quindi con moto accelerato. Nel suo procedere in questo moto il corpo incontra però una resistenza dell'aria che, come si è visto, cresce anch'essa al crescere della velocità. Ad un certo punto si verificherà però che la forza ritardatrice della resistenza dell'aria eguaglia la forza di gravità: da quel momento le due forze si equilibrano e il moto diventa uniforme; la velocità del corpo che cade non aumenta più, ma diviene costante. È per questo motivo che un chicco di grandine di media

grandezza non giunge a terra con una velocità pericolosa ma a circa 50 m/s. Un paracadute, che ha un'ampia superficie, rallenta la velocità di caduta del paracadutista fino a circa 6 m/s ed anche un paracadutista che scende in caduta libera raggiunge, dopo circa 300-400 metri di caduta, la velocità massima (cosiddetta velocità limite) che è di circa 50 m/s

Quanto esposto vale naturalmente anche per i proiettili.
Posto che la ritardazione è data da

$$Rit = \frac{Resistenza \cdot gravità}{peso}$$

e che l'accelerazione di gravità è pari a 9,81 m/s^2 , la situazione di equilibrio sarà data da

$$\frac{R \cdot 9{,}81}{P} = 9{,}81$$

e cioè quando R = P
La resistenza R è espressa dalla formula

$$R = Cb \cdot f(v)$$

e perciò si tratterà semplicemente di trovare per quali valori di v si ha

$$Cb \cdot f(v) = P$$

in relazione ad un determinato proiettile.
Esempio:
Sia il proiettile 8x57 e sia P = 0,0128 kg ed i = 0,65.
Il coefficiente balistico sarà dato da

$$Cb = \frac{C^2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}65}{4} = 0{,}326$$

da cui

$$0{,}326 \cdot f(v) = 0{,}0128 = R$$

e quindi

$$f(v) = \frac{0{,}0128}{0{,}326} = 0{,}039$$

Dalle tavole di Sängewald si legge che tale valore corrisponde ad una velocità di 180 m/s

Per un proiettile cal. 9 Para in cui
P = 0,0085 e i = 1,20 si avrebbe

$$Cb = \frac{0{,}9^2}{4} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}20 = 0{,}16$$

$$f(v) = \frac{0{,}0085}{0{,}76} = 0{,}01118$$

Dalle tavole si vede che tale valore corrisponde ad una velocità di 96 m/s.

Il calcolo esposto è valido nell'ipotesi che, stante la non rilevante altezza raggiunta dal proiettile, la densità dell'aria possa essere considerata costante e che il proiettile ricada perfettamente stabilizzato e con la punta diretta verso il suolo. È appena il caso di rilevare che la velocità limite di un proiettile nell'aria non può essere superiore alla velocità che il proiettile avrebbe acquistato ricadendo dalla medesima altezza nel vuoto secondo la formula

$$v = \sqrt{2hg}$$

Se ad esempio un proiettile raggiunge l'altezza massima di 1.000 metri, la velocità finale di caduta nel vuoto sarà pari a 140 m/s e anche il proiettile più aerodinamico non potrà superarla. Se il proiettile si capovolge aumenta notevolmente il suo fattore di forma e quindi diminuisce la velocità limite. Il proiettile cal. 9 Para di cui all'esempio precedente, se ricadesse capovolto avrebbe un fattore di forma pari a 2,30 e una velocità limite pari a circa 70 m/s.

Le esperienze compiute hanno poi dimostrato che il proiettile ricadente, se non riesce a capovolgersi per effetto di una certa angolazione del tiro o per effetto del vento, ricade con la base verso il suolo e roteando vorticosamente (tipico è il ronzio che esso produce) così che esso viene ad avere un coefficiente di forma pari a circa 7,5 ! In tal caso la velocità del proiettile non riesce a superare i 30-40 m/s.

In base ai dati teorici e sperimentali si può concludere che il proiettile sparato verticalmente e non capovolto per effetto del vento, ricade con una velocità minima non idonea a ledere la persona; il proiettile che al vertice della traiettoria si capovolge e ricade con la punta in avanti, acquista invece una velocità superiore ai 100 m/s. e può essere pericoloso; un proiettile cal. 9 Para, ad esempio, come vedremo nell'apposito capitolo, alla velocità di 100 m/s può perforare la cute e produrre ferite superficiali; un proiettile appuntito per fucile militare può perforare la cute e almeno 40 cm di tessuto molle o un cm di osso.

Il proiettile di fucile sparato verticalmente, se non spostato dal vento, ricade all'incirca entro un raggio di 10 metri dal tiratore; il vento può spostarlo anche di 200 metri.

Nell'ipotesi che la densità dell'aria non possa essere assunta come costante, la velocità limite cresce con l'altezza di caduta.

Si veda, ad esempio, ciò che avviene con alcune bombe lanciate dall'aereo

VELOCITÀ DI CADUTA in m/s

Altezza m	Cal 15,5 cm 250 kg	Cal. 31 cm 550 kg	Nel vuoto
3000	232	234	243
4000	264	267	280
5000	288	292	314
6000	307	314	344
7000	324	335	371

(Secondo Rougeron)

Stante l'elevata densità sezionale della bomba, la velocità limite nell'aria si avvicina notevolmente alla velocità di caduta nel vuoto.

Calcoliamo ora il tempo totale di volo di un proiettile sparato verticalmente.

Abbiamo già visto che il tempo di salita t può essere calcolato con la formula

$$t = 0{,}37\sqrt{h}$$

Per calcolare con una certa approssimazione il tempo di caduta supponiamo che il primo tratto di percorso h_1 venga compiuto secondo la legge della caduta dei gravi nel vuoto e sia quindi

$$h_1 = \frac{V_l^2}{2 \cdot 9{,}81}$$

e che quindi il tempo impiegato a percorrere il tratto sia

$$t_1 = \frac{V_l}{9{,}81}$$

Il resto della traiettoria $h - h_1$, verrà invece percorso a velocità costante e quindi nel tempo

$$t_2 = \frac{h - h_1}{V_l}$$

Esempio: Sia un proiettile cal. 9 par in cui V = 330 m/ , P = 8,5 g, V = 70 m/s e con le formule viste calcoliamo:

$$y_{max} = 1143\ m$$
$$t_s = 12{,}5\ s$$

Quindi

$$h_1 = \frac{10^2}{2 \cdot 9{,}81} = 250\ m$$
$$t_1 = \frac{10}{9{,}81} = 7{,}15\ s$$
$$t_2 = \frac{1143 - 250}{10} = 12{,}75$$

$$t_s + t_1 + t_2 = 32{,}4\ s$$

Nel calcolare il tempo di caduta occorre tener presente che il proiettile può ricadere con la punta verso il suolo oppure capovolto.

Esperimenti compiuti con il proiettile 8x57 appuntito e sparato capovolto, in modo da avere la sicurezza che ricadesse con la punta in avanti, hanno stabilito un tempo totale di 31". Lo stesso proiettile, sparato normalmente, impiegò invece ben 74" a ricadere, risultato, che come già detto, si giustifica supponendo che nella fase di caduta esso avesse un coefficiente di forma pari a 7,5.

BALISTICA VENATORIA

LA TRAIETTORIA UTILE DEI FUCILI A CANNA RIGATA

Questo capitolo studia la traiettoria venatoria, vale a dire quella traiettoria, di solito non superiore a 300 metri, percorsa da proiettili di fucili da caccia. Per le sue due principali caratteristiche, notevole tensione ed angolo di proiezione minimo, lo studio richiede una precisione di calcolo del tutto particolare. Questa precisione, tra l'altro, non consente di trascurare, come fatto finora, la circostanza che la linea di proiezione non coincide con la linea di mira. Come si vede dalla figura 1) in cui la curvatura della traiettoria è stata volutamente esagerata per meglio rappresentare il fenomeno, la traiettoria interseca due volte la linea di mira; una prima volta ad una distanza di 20-40 metri dalla bocca dell'arma e una seconda volta alla distanza per la quale l'arma è azzerata.

Un primo punto di partenza per lo studio della traiettoria venatoria è dato dalle tabelle balistiche che le fabbriche di munizioni forniscono per le proprie cartucce e di cui quindi occorre apprendere l'uso ed il significato.

Se prendiamo una qualsiasi cartuccia europea, ad es. la RWS 7x 64 HHK con:

Peso del proiettile 11,2 g
Lunghezza del proiettile 34 mm
Lunghezza della canna 650 mm
Peso della polvere 3,75 g
Pressione 3.600 kg/cm^2
Velocità iniziale 840 m/s a 10 metri dalla bocca dell'arma.

I dati balistici indicati dalla casa vengono così esposti:

Distanza	Energia	Velocità	Tempo di volo
m	kgm	m/s	sec
0	412	850	0
50	370	805	0,060

100	334	765	0,123
150	300	725	0,190
200	272	690	0,260
300	219	620	0,411

E poi viene indicata la distanza in cm del punto di impatto dalla linea di mira

Dist	DOA a	Cannocchiale tarato a				Senza cann.
m	m 170	100m	150m	200m	300m	a 100m
50	+1,5	-0,5	+0,5	+2,5	+6,5	+1
100	+4	*	+2,5	+6	+14	*
150	+2	-4	*	+5	+17	-5,5
200	-4,5	-12	-7	*	+16	-15
300	-31	-42	-35	-24	*	-48

Il significato dei dati forniti è intuibile: sono indicate le ordinate progressive di cinque traiettorie secondo cinque diverse distanze di azzeramento e con impiego di cannocchiale, (convenzionalmente supposto avere l'asse ottico a 5 cm sopra l'asse della canna) ed una traiettoria con impiego dei punti di mira meccanici (convenzionalmente supposti essere a 2 cm sopra l'asse della canna).

I dati indicati, ad esempio, per un azzeramento ottimale a 170 m., ci dicono che, se il bersaglio è posto invece a 100 m., il proiettile colpirà 4 cm più in alto (vale a dire che per fare centro occorre mirare 4 cm più in basso) e che se il bersaglio è posto a 300 m., il proiettile colpirà 31 cm più in basso (vale a dire che per fare centro occorre mirare 31 cm al di sopra del centro del bersaglio).

I valori delle ordinate sono riferiti, si ripete, a linee di mira convenzionali; quindi per aver dati veramente validi per ogni caso specifico occorre misurare l'effettivo valore della distanza tra la linea di mira e l'asse della canna (si pensi ad esempio ai fucili combinati), valutare le effettive prestazioni della cartuccia e calcolare la traiettoria secondo i sistemi indicati più sotto. Nella tabella è indicata, molto opportunamente, anche la velocità alla distanza di 10 metri dalla bocca dell'arma, poiché, come è noto, la velocità V_0 delle tavole è calcolata teoricamente estrapolandola dalla velocità

effettiva del proiettile ad una certa distanza della bocca dell'arma, quando è cessato definitivamente l'effetto accelerante dei gas di sparo.

Le tabelle dei paesi anglosassoni sono alquanto più sintetiche ed in genere, invece di indicare le ordinate progressive della traiettoria, si limitano a indicare il valore della "mid-range trajectory" e cioè il valore della ordinata presa a metà della gittata e misurata rispetto alla linea di sito. Talvolta esse sono compilate secondo il modello europeo con dati riferiti a 100, 200, 300 yarde e secondo una linea di mira per cannocchiale pari ad un pollice e mezzo (3,8 cm) al di sopra dell'asse della canna.

Un concetto da chiarire è quello della distanza ottimale di azzeramento (DOA): questa indica quella gittata alla quale la traiettoria percorsa dal proiettile non supera mai la distanza (positiva o negativa) di 4 cm dalla linea di mira; in altre parole ciò significa che se la DOA di un proiettile è di 170 metri, qualunque bersaglio posto tra la bocca dell'arma e tale distanza - alla quale possono aggiungersi 20-30 metri in cui il proiettile scende al di sotto della linea di mira per un valore inferiore a 4 cm (vedi fig. 1), verrà colpito con uno scarto massimo di 4 cm rispetto alla linea di mira. Questo naturalmente in linea teorica, supponendo che non sussistano cause di dispersione del tiro. È chiaro che la DOA ha interesse solo per il cacciatore, il quale non può certo mettersi a misurare la distanza a cui si trova il capo di selvaggina e pretende solamente di colpire esattamente il bersaglio a distanza utile senza doversi preoccupare per la curvatura della traiettoria. Se invece si spara ad un bersaglio ad una distanza ben prestabilita l'arma deve comunque essere azzerata per detta distanza, affinché l'errore di puntamento non si cumuli con gli errori di dispersione del tiro. In alcune tavole anglosassoni è indicata anche una distanza ottimale di azzeramento a breve distanza (10-30 metri) il cui significato sarà subito chiaro osservando la figura (1).

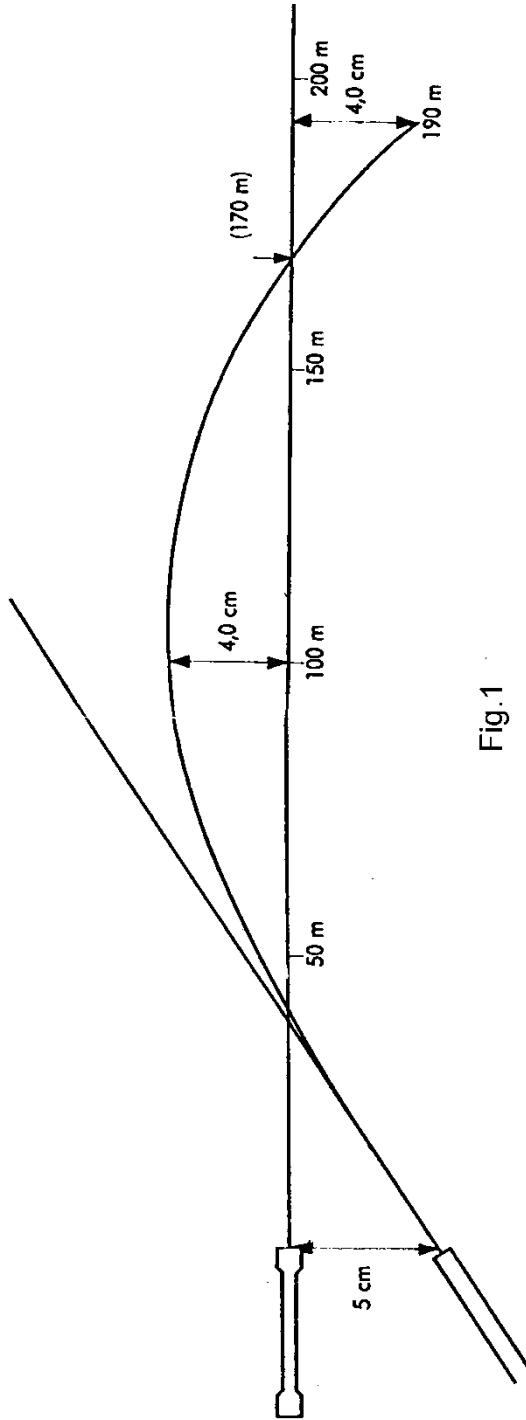



Fig.1

Siccome la traiettoria incontra due volte la linea di mira, invece di azzerare l'arma rispetto al punto DOA, è possibile azzerarla anche nel punto in cui la traiettoria interseca per la prima volta la linea di mira; ciò può tornare utile quando non si disponga di una sufficiente distanza sul poligono; il sistema è però alquanto fallace ed utile solo per un primo azzeramento approssimativo.

Giova ricordare che i dati più attendibili forniti dalle tabelle sono quelli relativi ai tempi di volo, facilmente misurabili, ed alle velocità residue alle varie distanze; invece le ordinate progressive in genere non sono misurate, ma calcolate e spesso risentono di errori derivanti dal sistema di calcolo usato.

Per eseguire calcoli relativi ad una data traiettoria occorre apprendere come sia possibile integrare ed estendere i valori tabulari. Naturalmente può farsi ricorso alle tavole balistiche riportate più avanti, ma nell'ambito della traiettoria venatoria (cioè una traiettoria alquanto tesa, con piccolo angolo di proiezione e con gittata non superiore a 500 metri) può farsi ricorso a sistemi più rapidi (se si ha un programma per computer la cosa è ancora più rapida!).

Gli esempi che seguono sono riferiti al proiettile 7x64 HMK della RWS.

Calcolo dei tempi di volo intermedi

Il tempo di volo è dato dal rapporto tra spazio percorso e velocità

$$t = \frac{s}{v}$$

ove v sta ad indicare la velocità media del proiettile nel tratto in questione. Una sufficiente approssimazione si ottiene assumendo come velocità media la velocità a metà percorso, così che sarà:

$$t_{100} = \frac{100}{v_{50}};\ t_{150} = \frac{150}{v_{75}}\ ecc.$$

Esempio

$$t_{100} = \frac{200}{v_{50}} = 0{,}261\ (nella\ tabella\ 0{,}260\ s)$$

Se la velocità a metà percorso non è nota, potrà usarsi il valore medio ottenuto facendo la media aritmetica o geometrica (o aritmetico-geometrica, tra le velocità iniziali

$$t_{75} = \frac{75}{media\,805 - 765} = \frac{75}{785} = 0{,}095\ s$$

Calcolo delle velocità noti i tempi di volo

Questo sistema di calcolo è dovuto a W.Weigel[1] e, oltre ad essere molto preciso, è veramente utile al comune sperimentatore poiché il tempo di volo alle varie distanze è il dato più facilmente misurabile con gli apparecchi elettronici in commercio. La precisione ottenibile dipende evidentemente dalla esattezza dei dati a disposizione e quindi, per quanto possibile, si deve evitare di usare valori interpolati, quali quelli ottenuti nell'esempio precedente.

Il Weigel parte dalla considerazione che la perdita di velocità in un determinato tratto della traiettoria dipende dal coefficiente balistico del proiettile e dalla velocità a metà di essa; così, ad esempio, il calo di velocità, da v_{50} a v_{100} è calcolabile in funzione di v_{75} ; ogni differenza di velocità tra due punti simmetrici rispetto alla distanza di 75 m. sarà esprimibile in funzione della stessa v_{75} . Si potrà quindi scrivere ad esempio

$$v_0 - v_{150} = 3(v_{50} - v_{100})$$

e cosi via.

Se ora noi abbiamo i tempi di volo

$$t_{100} = 0{,}123; t_{200} = 0{,}260;\ t_{300} = 0{,}411\ s$$

possiamo già calcolare direttamente tre velocità e cioè:

$$v_{50} = \frac{100}{t_{100}} = 813\ m/s$$

$$v_{150} = \frac{100}{t_{200} - t_{100}} = 729\ m/s$$

$$v_{250} = \frac{100}{t_{300} - t_{200}} = 662\ m/s$$

Per il punto intermedio di 125 m potrà ugualmente scriversi

$$v_{50} - v_{200} = 3(v_{100} - v_{150})$$

e per il punto intermedio di 175 m

$$v_{100} - v_{250} = 3(v_{150} - v_{200})$$

[1] W. Weigel, *Die Berechnung von Geschossgeschwindigkeiten*, DWJ 1969, pag.112

E da queste relazioni si ricava

$$v_{100} = \frac{3v_{50} + 6v_{150} - v_{250}}{8}$$

Esempio

$$v_{100} = \frac{3 \cdot 813 + 6 \cdot 792 - 662}{8} = 768\, m/s$$

$$v_{200} = \frac{6v_{150} + 3v_{250} - v_{50}}{8}$$

Esempio

$$v_{200} = \frac{6 \cdot 729 + 3 \cdot 662 - 813}{8} = 693\, m/s$$

$$v_0 = 3(v_{50} - v_{100}) + v_{150}$$

Esempio

$$v_0 = 3 \cdot (813 - 768) + 729 = 864\, m/s$$

E così via

$$v_{25} = \frac{3v_0 + -6v_{50} - v_{100}}{8}$$

$$v_{300} = v_{100} - 2(v_{150} - v_{250})$$

$$v_{400} = v_0 - 2(v_{100} - v_{300})$$
$$v_{500} = v_0 - 5 \cdot (v_{200} - v_{300})$$

Sarà così possibile, noti solo tre tempi di volo del proiettile, risalire con una certa approssimazione alle velocità dello stesso per vari tratti dell'intera traiettoria venatoria.

Calcolo di velocità intermedie

Qualora siano noti v_0, v_{150} e v_{300} il metodo consigliato da W. Lampel[1] consente di calcolare le velocità intermedie, di 50 in 50 metri con sufficiente approssimazione per i proiettili standard usati per caccia. Sia

$$v_0 = 850\, m/s; \quad v_{150} = 725\, m/s; \quad v_{300} = 620\, m/s$$

---

[1] W. Lampel, *Jagdballistik,* Melsungen 1971

Si ottenga la differenza

$$v_0 - v_{150} = 125$$
$$v_{150} - v_{300} = 105$$

E si calcoli poi

a) il 37% di 125 = 46,25
b) il 70% di 125 = 87,5
c) il 36% di 105 = 37,8
d) il 69% di 105 = 72,45

Da questi valori si possono calcolare le velocità intermedie così:

$$v_0 - a = v_{50}$$
$$v_0 - b = v_{100}$$
$$v_{150} - c = v_{200}$$
$$v_{150} - d = v_{250}$$

Nell'esempio in esame si otterrebbe

V_0	V_{50}	V_{100}	V_{150}	V_{200}	V_{250}	V_{300}	m
850	804	762	725	687	652	620	m/s

con buona corrispondenza ai valori tabulari.

Tracciamento di una traiettoria venatoria qualsiasi

Non sempre si dispone dei dati relativi alla traiettoria di un proiettile, oppure può essere necessario calcolare una traiettoria per un punto di azzeramento ed una linea di mira, diversi da quelli indicati nelle tavole commerciali.

Un sistema estremamente valido è quello proposto da F. Avčin[1] che calcola le ordinate progressive della traiettoria in relazione ai tempi di volo secondo la formula

$$y = \frac{gT^2}{2}\left[\frac{x}{X} - \left(\frac{t}{T}\right)^2\right]$$

in cui X è la distanza di azzeramento.

Si voglia ad esempio tracciare la traiettoria del proiettile 7x64 HMK della RWS con arma azzerata a 300 metri. Le ordinate progressive saranno date da

[1] F. Avčin, *Zur Bestimmung von Jagdgeschossbahnen*, DWJ, 1974, pag. 705

$$y_{50} = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}411^2}{2}\left[\frac{50}{300} - \left(\frac{0{,}06}{0{,}411}\right)^2\right] = \ +0{,}12\ m$$

$$y_{100} = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}411^2}{2}\left[\frac{100}{300} - \left(\frac{0{,}123}{0{,}411}\right)^2\right] = \ +0{,}20\ m$$

E così via ottenendosi

$$y_{150} \ = +0{,}237\ m; \ \ y_{200} = +0{,}22\ m$$

Se calcoliamo con le tavole balistiche del Lovry, o con un programmino per computer, il tempo di volo per 350 metri e calcoliamo y_{350} , otterremo un valore di -0,274 m (valore negativo in quanto al di sotto della linea di sito).

I valori così trovati consentono di tracciare la traiettoria cercata come in figura (2).

Naturalmente le ordinate non possono essere rappresentate con la stessa scala delle ascisse poiché altrimenti la traiettoria appena si distinguerebbe dalla linea di sito.

Si può scegliere, ad esempio, una scala di 1:16,666 per le ascisse e la scala di 1:5 per le ordinate progressive.

Supponendo ora che si spari con un cannocchiale, così che la linea di mira si trovi 5 cm al di sopra dell'asse della canna, sarà sufficiente riportare la misura di 5 cm al di sopra di 0 nel punto A; la linea congiungente il punto A con il punto di azzeramento rappresenta la linea di mira attraverso il cannocchiale e da essa potranno misurarsi le varie distanze dalla traiettoria e cioè le ordinate progressive rapportate alla linea di mira ipotizzata.

Le ordinate progressive rispetto alla linea di mira si ottengono sottraendo dal valore trovato rispetto alla linea di sito, la quantità data dalla formula

$$h = \left(1 - \frac{x}{X}\right)$$

in cui h = altezza del congegno di mira sopra la linea di mira

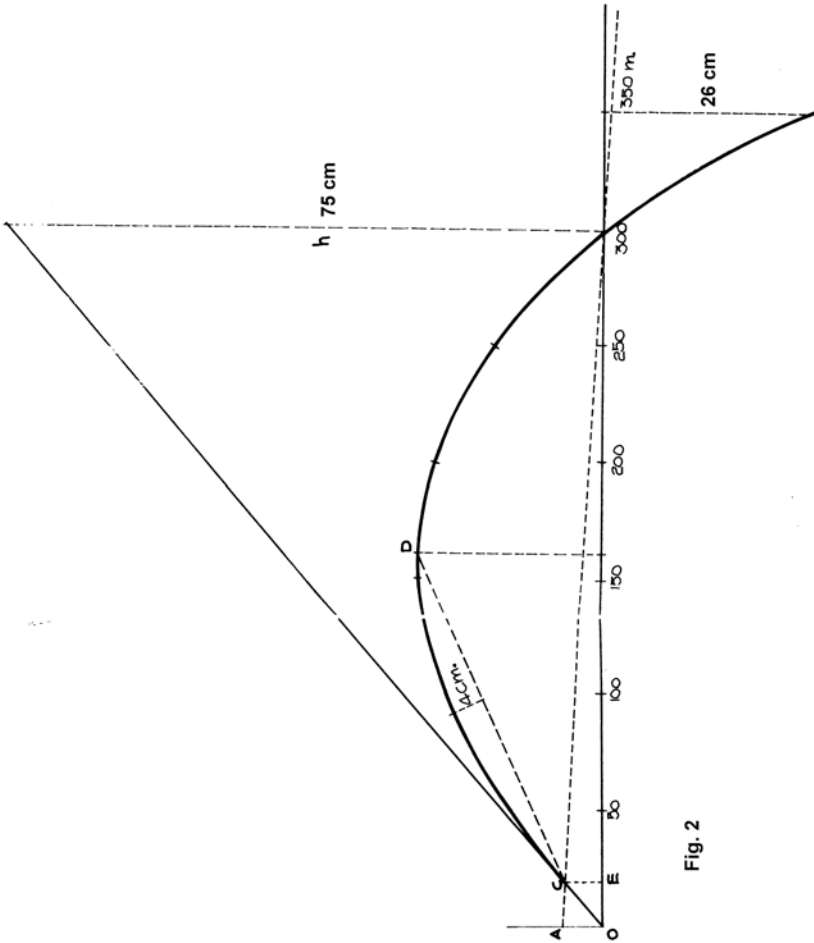



Fig. 2

Esempio

$$per\ h = 5\ cm;\ v_{100} = +0{,}20\ m$$

Si avrà

$$0{,}20 - 0{,}05 \cdot \left(1 - \frac{100}{300}\right) = 0{,}165\ m$$

come si può apprezzare in figura 2.

L'ordinata al vertice della traiettoria può essere letta dal grafico. Per cartucce da caccia aventi traiettoria tesa, si può assumere che essa sia posta poco oltre la metà della gittata, e cioè

$$x_v = \frac{X}{2} \cdot 1{,}1$$

e quindi, nell'esempio

$$x_v = \frac{300}{2} \cdot 1{,}1 = 165\, m$$

Alla distanza x_v perciò, la distanza della linea di mira dalla linea di sito si è ridotta circa alla metà e si può quindi accettare la regola empirica secondo cui l'ordinata massima della traiettoria riferita alla linea di sito è pari all'ordinata sopra la linea di mira a metà gittata, aumentata di metà dell'altezza della linea di mira. Perciò, se in tabella si legge che l'ordinata a 150 m. è eguale a + 17 cm sopra la linea di mira con cannocchiale di 5 cm, l'ordinata massima rispetto alla linea di. sito sarà pari a cm 17 + cm 5/2 = cm 19,5 (in figura 2 è pari a cm 22), valore da ritenersi più esatto rispetto a quello ottimistico della tabella).

Se ora dal punto C si traccia quella corda alla curva che non disti da essa più di 4 cm si otterrà il punto D, la cui ascissa individua esattamente la distanza ottimale di azzeramento (DOA), nella specie pari a m. 161.

Infine la distanza OE indica la distanza a cui la traiettoria taglia per la prima volta la linea di mira (distanza breve di azzeramento - DBA), pari a m.20.

La distanza tra la linea di mira e la traiettoria alla distanza di 350 m. (nella specie pari a 26 cm) ci dice che, sparando con l'arma azzerata a 300 metri contro un bersaglio posto a 350 m., per fare centro occorre sparare 26 cm al di sopra di questo.

Tracciando la tangente alla traiettoria all'origine O e abbassando da essa la perpendicolare al punto di caduta, questa perpendicolare misurerà lo spazio di caduta h del proiettile alle varie distanze.

Da questo si ricava direttamente l'angolo di proiezione, applicando la semplice regola trigonometrica secondo cui

$$tang\varphi = \frac{spazio\ di\ caduta}{gittata} = \frac{h}{X}$$

Nell'esempio si avrà

$$tang\varphi = \frac{0,75}{300};\ \varphi = 0°8'35,66"$$

ben vicino al valore di 0° 8' 34,48" ricavabile con le tavole del Lowry.

Dalla fig.(l) si osserva che l'angolo di proiezione è opposto al vertice, e quindi eguale, all'angolo che la linea di proiezione forma con la linea di mira. Supponendo che la linea di mira sia posta 5 cm al di sopra dell'asse della canna, la distanza breve di azzeramento (DBA) sarà immediatamente fornita dalla formula

$$DBA = \frac{0,05}{tang\varphi} = 20\ m$$

come già misurabile graficamente.

L'angolo φ calcolato con il sistema precedente è l'angolo che la linea di proiezione forma con la linea di mira, coincidente con la linea di sito per la distanza di azzeramento (Fig.3). Per colpire un bersaglio oltre la distanza di azzeramento bisognerà sparare più in alto; la linea di mira non coinciderà con la linea di sito e bisognerà aumentare l'elevazione dell'arma (Fig.4). L'elevazione aggiuntiva che bisognerà dare all'arma per raggiungere un bersaglio posto a distanza maggiore di quella di azzeramento, sarà pari semplicemente alla differenza tra l'angolo φ' teoricamente necessario per attingere la richiesta distanza e l'angolo φ necessario per attingere la distanza di azzeramento.

Esempio:

Sia l'arma azzerata a 300 metri e sia quindi

φ = 0° 8' 35,66" e si voglia calcolare con quale angolo rispetto alla linea di sito sia necessario sparare per colpire il bersaglio a 500 metri; l'angolo di proiezione φ' per la distanza di 500 metri è uguale a 0° 17' 24,12"; perciò la maggiore elevazione da dare all'arma già azzerata per la distanza di 300 metri (e quindi avente già l'elevazione dovuta per tale distanza) sarà data dalla differenza tra i due angoli ($\varphi' - \varphi$), pari a 0° 8' 48,46".

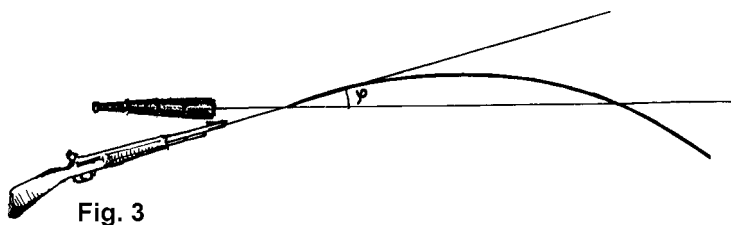



Fig. 3

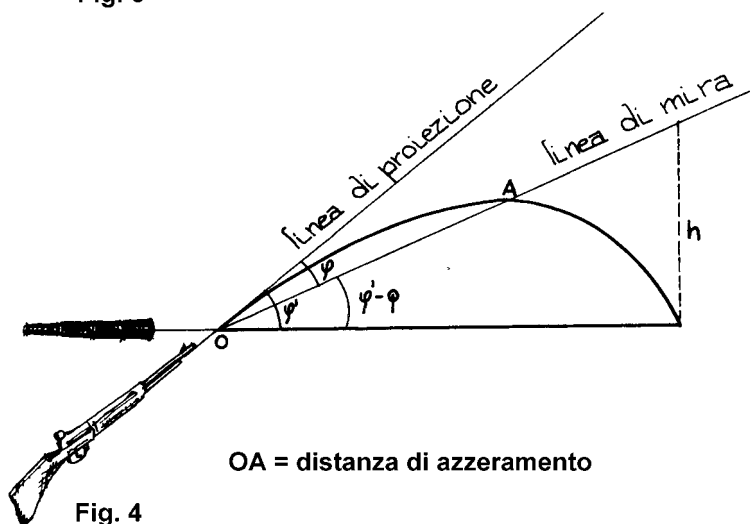



Fig. 4

Questo angolo ci consente ora di calcolare anche di quanto occorre sparare sopra al bersaglio, con l'arma azzerata a 300 metri. Sarà cioè:

$$h = \text{tang } 0° \, 8' \, 41{,}58'' \cdot 500 = 1{,}28 \text{ m.}$$

Dalla figura si rileva come sia agevole, in relazione all'angolo opposto al vertice di φ' calcolare l'alzo da darsi per colpire il bersaglio alla detta distanza.

Le formule e i metodi di calcolo esposti in questo capitolo valgono evidentemente anche per calcolare traiettorie non troppo lunghe di proiettili per armi corte.

Caduta del proiettile rispetto alla linea di proiezione

Nel vuoto, come abbiamo già visto, il proiettile si allontana dalla linea di proiezione in proporzione al quadrato del tempo, come se fosse sotto l'influsso della sola forza di gravità, secondo la formula

$$Spazio = \frac{gt^2}{2}$$

Nell'atmosfera la caduta del proiettile viene rallentata dalla resistenza dell'aria e da una certa portanza del proiettile, così che essa è sempre inferiore a quello che si avrebbe nel vuoto. Da questo fenomeno deriva la difficoltà di calcolare con sistemi semplici la traiettoria di un proiettile, pur essendo nota la sua legge di resistenza, poiché la diminuzione della componente rappresentante la forza di gravità, variabile in relazione a molti fattori, produce un aumento della gittata rispetto a quella che si otterrebbe supponendo che la caduta avvenisse secondo la legge valevole per il vuoto.

Esempio:

Il proiettile 8 x 57 JS ha una gittata di 1.000 m con un angolo di proiezione di 49' e un tempo di volo di 1,96 secondi.

La caduta D è quindi pari a

D . tang 49' . 1000 = 14,25 metri

La caduta nel vuoto D sarebbe invece stata

$$D_v = \frac{9{,}81 \cdot 1{,}96^2}{2} = 18{,}8\ m$$

corrispondente ad una gittata

$$X = \frac{18{,}8}{tang\ 49'} = 1318$$

del tutto erronea.

In via alquanto approssimativa la caduta del proiettile nell'aria può essere calcolata adottando coefficienti di correzione della forza di gravità.

Il primo è quello proposto dal Siacci, valido per gittate piuttosto brevi e tese, e fornito dalla formula

$$coeff = \frac{1}{3}\left(1 + \frac{2X}{v_0 T}\right)$$

in cui V_0 è la velocità iniziale e T il tempo di volo.

Riprendendo l'esempio precedente si avrà

$$coeff = \frac{1}{3}\left(1 + \frac{2 \cdot 1000}{755 \cdot 1{,}96}\right) = 0{,}7838$$

$$D = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}7838 \cdot 1{,}96^2}{2} = 14{,}77\ m$$

Naturalmente lo stesso risultato si sarebbe potuto ottenere moltiplicando per il coeff. 0,7838, invece che l'accelerazione di gravità, il valore di 18,8 metri, già trovato in precedenza.

Il secondo è proposto da Mc Shane-Kelly-Reno; la tabella riporta i valori corretti dell'accelerazione di gravità, già tabulati in relazione ai vari valori che assume il rapporto

$$\frac{v_c}{v_0}$$

in cui V_c indica la velocità alla distanza considerata,

Esempio:

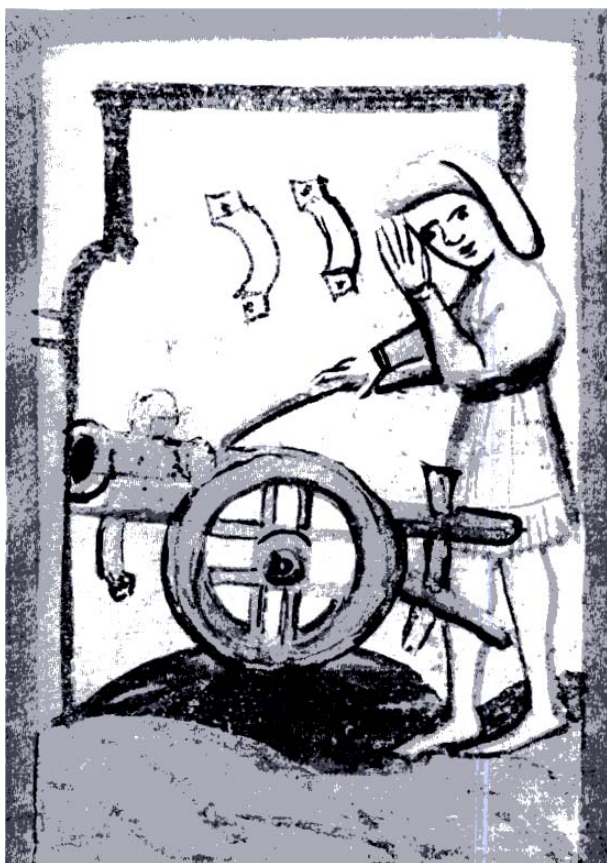
Nell'esempio già fatto si avrebbe V_c= 367 m/s e quindi

$$\frac{v_c}{v_0} = 0{,}486$$

Dalla tabella, interpolando, si ottiene g = 7,8537 e quindi

$$D = \frac{7{,}8537 \cdot 1{,}96^2}{2} = 15\,m$$

Questo sintema, valido fino a che il rapporto non diventa inferiore a 0,30, è meno preciso di quello di Siacci per gittate brevi e tese, ma si presta meglio per il calcolo di altri tipi di traiettorie.

v_0/v_c	g	v_0/v_c	g	v_0/v_c	g	v_0/v_c	g
1	9,8100	0,64	8,4836	0,82	9,1948	0,46	7,7216
0,99	9,7790	0,63	8,4582	0,81	9,1694	0,45	7,6708
0,98	9,7536	0,62	8,4328	0,80	9,1440	0,44	7,6200
0,97	9,7282	0,61	8,3820	0,79	9,0932	0,43	7,5692
0,96	9,7028	0,60	8,3312	0,78	9,0424	0,42	7,5184
0,95	9,6774	0,59	8,2804	0,77	8,9916	0,41	7,4422
0,94	9,6520	0,58	8,2296	0,76	8,9408	0,40	7,3660
0,93	9,5758	0,57	8,2042	0,75	8,9154	0,39	7,3406
0,92	9,4996	0,56	8,1788	0,74	8,8900	0,38	7,3406
0,91	9,4742	0,55	8,1534	0,73	8,8646	0,37	7,2644
0,90	9,4488	0,54	8,1280	0,72	8,8392	0,36	7,2136
0,89	9,4234	0,53	8,0518	0,71	8,7884	0,35	7,1374
0,88	9,3980	0,52	7,9756	0,70	8,7376	0,34	7,0612
0,87	9,3726	0,51	7,9502	0,69	8,6868	0,33	7,0104
0,86	9,3472	0,50	7,9248	0,68	8,6360	0,32	6,9596
0,85	*9,296^*	0,49	7,8740	0,67	8,6106	0,31	6,9088
0,84	9,2456	0,48	7,8232	0,66	8,5852	0,30	6,8580
0,83	9,2202	0,47	7,7724	0.65	8,5344		

Cannone regolabile

IL TIRO CON GRANDE ANGOLO DI SITO

Talvolta, e particolarmente nella caccia di montagna, occorre sparare a bersagli che non si trovano sullo stesso orizzonte del cacciatore, ma molto più a monte od a valle. L'arma dovrà assumere quindi una notevole inclinazione verso l'alto o verso il basso: in tali condizioni non può più farsi affidamento sulla teoria della rotazione della traiettoria, che anzi dà luogo ad errori tali da far bellamente mancare il bersaglio. In altre parole, non è possibile sparare ad un camoscio posto a 200 metri sopra di noi, su di una cengia, senza tener conto del diverso angolo di sito, poiché l'arma è azzerata per una traiettoria con angolo di sito modesto (in pratica si comincia a considerare rilevante l'errore oltre un angolo di sito di 30°.

Esaminando la figura I e sarà subito chiara la causa del fenomeno.

Un proiettile sparato con l'angolo di proiezione φ e angolo di sito nullo, giungerà dopo il tempo -t- nel punto A, ottenuto secondo i principi già esaminati, supponendo che il proiettile si muova prima lungo la linea di proiezione per effetto dell'impulso iniziale e cada poi perpendicolarmente per il tempo -t- per effetto della forza di gravità. Se ora si spara invece con l'angolo di sito ε (è indifferente se positivo o negativo) il proiettile non cadrà per effetto della forza di gravità in A ma bensì in A'; la conseguenza sarà, che, alla medesima distanza di azzeramento, il proiettile seguirà una traiettoria più alta rispetto alla linea di sito (o di mira) e che quindi, per colpire il centro del bersaglio, occorrerà mirare più in basso.

La figura non è in scala e le dimensioni sono state volutamente esagerate per evidenziare meglio il fenomeno.

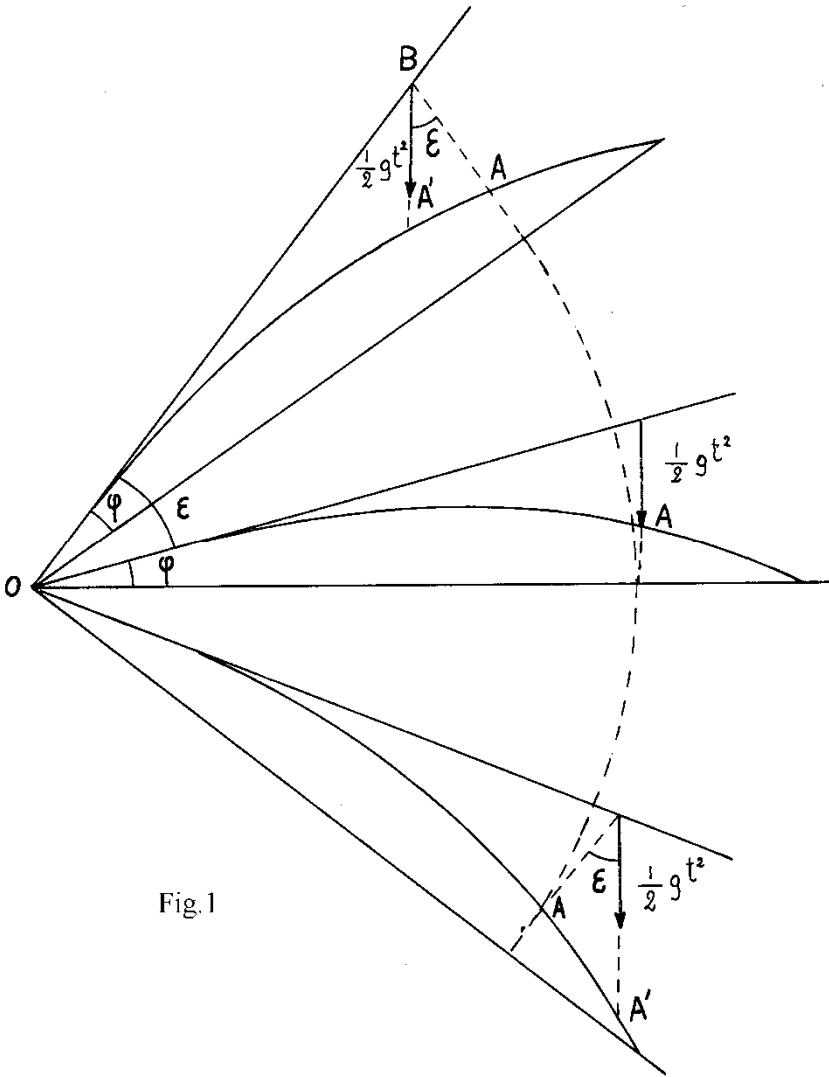



Fig. 1

La traiettoria del proiettile sparato con angolo di sito diverso da zero può essere agevolmente tracciata con il sistema proposto da Francé Avčin. Egli, in primo luogo, semplifica il problema osservando che l'angolo φ , di pochi secondi, può essere tranquillamente trascurato rispetto all'angolo ε; osserva inoltre che il tratto di traiettoria compreso tra A ed A' è anch'esso trascurabile rispetto all'intero arco di 150-200 metri in quanto non supera i 15-20 cm di

lunghezza. Infatti, come si vede nella figura, l'angolo formato dai tratti HA e HA' è eguale all'angolo ε e perciò il tratto AA' sarà dato dalla formula

$$AA' = \frac{gt^2}{2}\, sen\, \varepsilon$$

Esempio: sia ε =60° e t= 0,255 sec.

$$AA' = \frac{9{,}91 \cdot 0{,}255^2}{2}\, sen\, 60° = 0{,}21\, m$$

La traiettoria potrà perciò essere tranquillamente calcolata come se A' cadesse sul tratto BA usando la formula già vista per le traiettorie venatorie, opportunamente integrata. Ricordo che t = tempo di volo alle varie distanze x a cui si vuole calcolare la caduta; T = tempo di volo alla distanza a cui è azzerata l'arma; X = tempo di volo alla distanza di azzeramento.

Le ordinate progressive alle varie distanze, secondo la linea di sito, saranno date dalla formula

$$y = \frac{gT^2}{2} \cdot \left[\frac{x}{X} - \cos \varepsilon \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^2\right]$$

e le ordinate progressive rispetto alla linea di mira, dalla formula

$$y_m = \frac{gT^2}{2} \cdot \left[\frac{x}{X} - cos\varepsilon \left(\frac{t}{T}\right)^2\right] - h\left(1 - \frac{x}{X}\right)$$

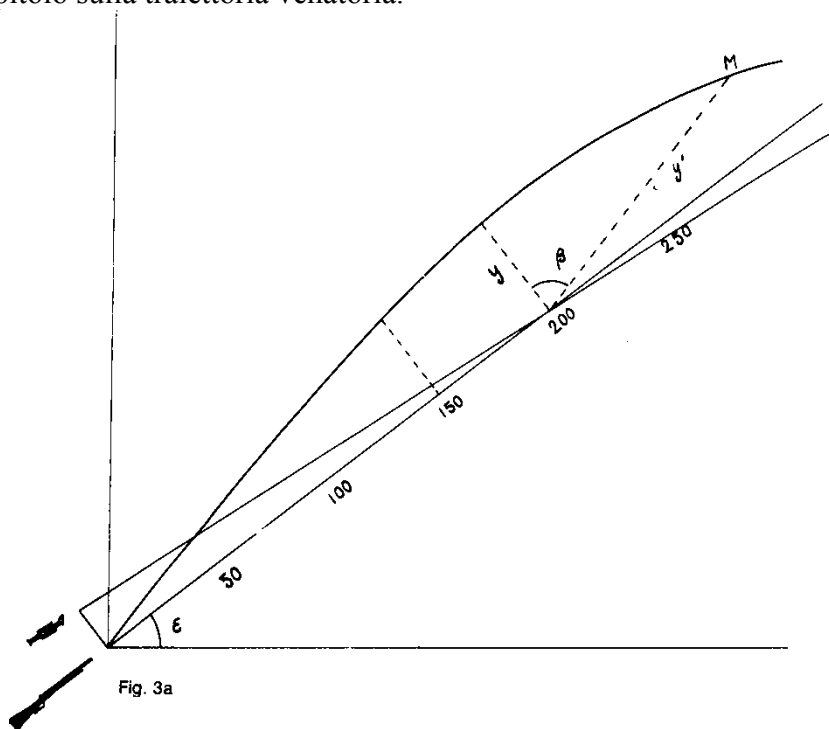
Vediamo, come al solito, un esempio concreto calcolato con riferimento alla cartuccia 6,5 x 57 VM della RWS con pallottola di 6 g e V= 1010 m/s e DOA = 200 m. Dalla tavola della casa, integrata con il metodo già visto, si ottengono i seguenti tempi di volo

m	50	100	150	200	250	300	350	400
t	0,051	0,105	0,163	0,255	0,340	0,368	0,453	0,540

da cui si calcolano le seguenti ordinate progressive per il tiro in piano e per il tiro con angolo di sito di 60° riferite alla linea di mira

	y50	**y100**	**y150**	**y200**	**y300**	**y350**
ε = 0°	0,011	0,045	0,043	*	- 0,26	
ε= 60°		0,072		0,12	0,065	-0,03

Con queste ordinate si può quindi procedere al tracciamento grafico delle relative traiettorie, sia per ε positivo che negativo, come nella figura ove è stata usata la scala grafica già impiegata nel capitolo sulla traiettoria venatoria.

Fig. 3a

Dall' immagine si vede che il punto in bianco viene a cadere a circa 340 metri di distanza e che a 200 metri il proiettile colpisce ben 12 cm al di sopra della linea di mira, il che può certamente far mancare il bersaglio o arrecare ferite non mortali. Il tiratore quindi, se da un lato deve preoccuparsi meno della valutazione della distanza a cui si trova il bersaglio, dal momento che il proiettile viaggia sempre al di sopra della linea di mira anche oltre la distanza di 300 metri, d'altro lato deve tener presente che il proiettile colpirà più in alto del punto mirato. Le indicazioni fornite consentono di tracciare agevolmente una serie di traiettorie per diversi angoli di sito (è sufficiente procedere di 15° in 15° più che sufficienti per l'uso del cacciatore).

Ciò posto occorre ora esaminare come il cacciatore od il tiratore debbano agire per correggere lo spostamento della traiettoria. Se il

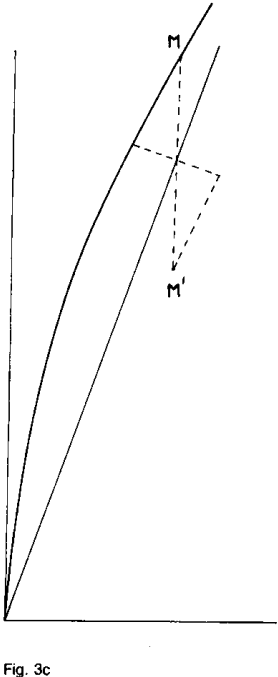
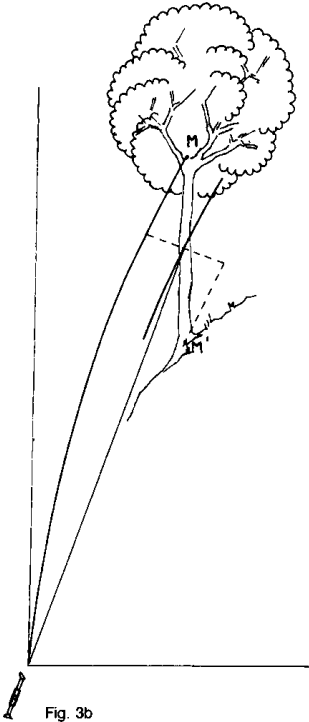
bersaglio si trovasse ad essere posto perpendicolarmente alla traiettoria percorsa dal proiettile (si pensi ad un uccello in volo), non vi sarebbero particolari difficoltà poiché sarebbe sufficiente mirare ad un punto posto al di sotto del bersaglio della misura y, per fare centro. In genere però (fig. 3b) il bersaglio si presenta al tiratore come verticale e quindi, per effetto dell'angolo di sito, viene visto sotto una prospettiva molto allungata ed interseca la traiettoria trasversalmente.

La conseguenza di ciò è che mirando al centro del bersaglio, il proiettile colpirà invece il punto M posto al di sopra del bersaglio della quantità y'. Bisognerà quindi mirare la punto M' simmetrico al precedente, ma in basso.

Questo valore di y' è ricavabile da y mediante la formula

$$y' = \frac{y}{\cos \varepsilon}$$

Esempio: L'ordinata progressiva prima calcolata per la distanza di 200 m. ed ε = 60° è di cm 12; la formula precedente ci dice che y' = 24 cm

Fig. 3b Fig. 3c

Un piccolo programma in QBASIC, riportato in appendice al libro e da salvare come file di testo *.BAS, vi aiuterà nel calcolo.

Quando l'arma sia dotata di tacche di mira o di alzo che consentano l'azzeramento a distanze variabili, la correzione del tiro può essere ottenuta in maniera abbastanza soddisfacente azzerando l'arma ad una distanza minore di quella a cui è posto il bersaglio e precisamente alla distanza che si ottiene moltiplicando la distanza effettiva per il coseno dell'angolo di sito ε

Esempio: Sia la traiettoria sopra calcolata con angolo di sito e = 60° e bersaglio a 200 metri, pari alla distanza ottimale di azzeramento. Se l'arma viene azzerata alla distanza

$$200 * \cos \varepsilon = 100 \text{ m}$$

si otterrà una traiettoria che colpirà il bersaglio con errore trascurabile. Questa traiettoria però è molto tesa fino a 200 metri, ma poi si distacca negativamente dalla linea di sito così che un errore anche modesto, in difetto, nella valutazione della distanza del bersaglio, può causare un errore inaccettabile. Conviene perciò abituarsi a correggere la mira ad occhio.

Se l'angolo di sito fosse di 75° si dovrebbe azzerare a 50 metri per fare centro a 200 metri.

IL TIRO A GRANDE DISTANZA

Il problema del tiro con carabina a distanza superiore ai 200-300 metri ricorda un po' la quadratura del cerchio perché non si può risolvere il problema in termini generali; bisogna distinguere a seconda che si voglia fare tiro al bersaglio ad una distanza ben nota e senza problemi di energia terminale, oppure che si voglia fare tiro venatorio contro un animale su cui occorre scaricare una data energia e di cui è sempre un po' incerta la distanza a cui si trova.

I problemi per il tiro al bersaglio sono modesti: l'arma viene tarata esattamente per centrare il bersaglio alla distanza a cui esso si trova e il solo aspetto da affrontare è quello di trovare un proiettile stabile, poco sensibile al vento e che, in relazione all'arma da cui viene sparato, offra una buona precisione. Il peso e la velocità del proiettile sono secondari, ma in genere si preferirà un proiettile alquanto pesante. Per tiri oltre il chilometro si ricorre a munizioni per mitragliatrice.

La ragione del perché non ha senso usare proiettili veloci ma leggeri è presto evidente se si paragona sulla distanza di 1000 metri la perdita di velocità di un proiettile 222 Rem di g 3,24, di un proiettile 8x68S di 11,66 g , di un proiettile ultraveloce quale il 22-250 Rem. con palla da 3,43 g. e di un proiettile 7x57 R di 11,21 grammi.

	Vo	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
222 Rem	980	795	645	523	424	344	279	226	183	149	120
8x68S	980	870	772	686	609	540	480	426	378	336	298
22-250 R	1130	970	833	716	615	528	453	390	334	287	246
7x 57 R	750	674	605	544	489	439	394	354	318	286	257
12,7x99	**883**	**843**	**803**	**865**	**730**	**695**	**663**	**632**	**602**	**574**	**547**

Si vede con quale rapidità il proiettile leggero perde la sua velocità; sarebbe insensato sparare con esso oltre i 400 metri perché, a parte ogni considerazione di energia terminale, se perde velocità

vuol dire che la traiettoria diventa molto curva, per cui della traiettoria tesa iniziale non rimane nulla. Quindi è una sciocchezza dire che il tiro teso iniziale è utile per il tiro a lunga distanza.

Per un utile paragone riporto i dati relativi alla perdita di velocità di un proiettile del tutto particolare, idoneo proprio la tiro a grande distanza e cioè la cartuccia 12,7 x 99 (50 US Browning) con palla da 48,5 g e Vo = 883 ms., gittata massima circa 7 km. La distanza di azzeramento ottimale è bassa, pari a 190 metri; il che vuol dire che comunque si richiede una precisa valutazione della distanza e un a precisa taratura sulla distanza del bersaglio.

Vediamo ora per un tiro a 400 metri quali sono i vantaggi e svantaggi dei vari proiettili calcolando di sparare con arma tarata a 400 metri, ma di dover valutare la distanza ad occhio con un errore di +/- 25 metri, del tutto modesto.

cal / m	375	400	425
222 R	cm +15	0	-18
8x68S	cm + 9	0	-10,5
22-250	cm + 8	0	-10
7x57 R	cm +14	0	-17
12,7x99	cm+7,3	0	-8

Il fatto di tirare con un proiettile leggero e traiettoria iniziale molto tesa non dà alcun vantaggio.

Vediamo ora che cosa succederebbe se il fucile fosse azzerato alla distanza di 200 metri, prossima all'incirca a quella ottimale

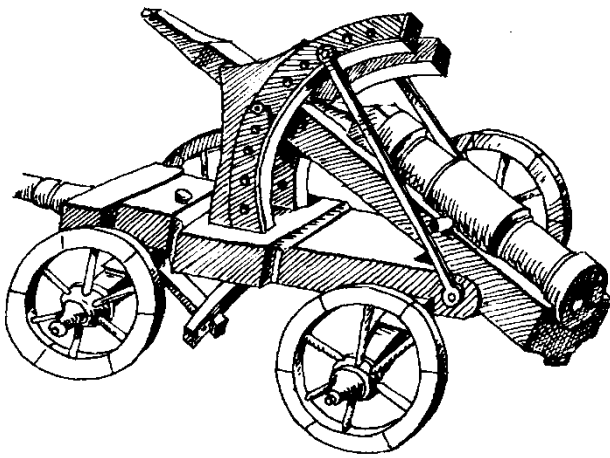
cal / m	250	300	350	400	450	500
222 R	-12	-31	-60	-100	-152	-222
8x68S	-9	-22	-42	-67	-97	-137
22-250	-10	-25	-47	-76	-114	-162
7x57 R	-15	-38	-68	-108	-159	-220
12,7x99	-8	-20	-35	-56	-81	-110

È evidente che fino a 300 metri e con le prime tre cartucce si può fare una correzione ad occhio sparando un palmo sopra al punto desiderato, ma che oltre tale distanza è assurdo sparare. Comunque

lo scarto minore si ha con il proiettile più pesante e non con quello più veloce all'origine.

Ma a parte le considerazioni pratiche, quali sono le cartucce che consentono di avere una traiettoria tesa?
Se prendiamo come limite di scarto rispetto alla linea di mira i 250 pollici (= cm 635) sulle 1000 yarde (= 914 m), troviamo che vi rientrano le seguenti cartucce.

Calibro	Grammi	V_o ms	Scarto in cm a 1000 yarde
7 mm SWT	9,39	1050	-487
7 mm SWT	10,36	990	-508
.284 Lazzeroni Firebird	7,77	1200	-393
.308 Lazzeroni Warbird	8,42	1210	-416
.338 Lazzeroni Titan	11,9	1082	-480
.30-378 Weatherby	11,6	1051	-505
.222 Rem	3,56	945	-571
257 Weatherby Magnum	6,48	1097	-619
.270 Winchester	8,42	910	-566
.270 Weatherby Magnum	9	1005	-607
7 mm Remington Magnum	9	990	-599
7 mm Weatherby Magnum	9,7	1005	-571
7 mm Dakota	9	1036	-541
.308 Lazzeroni Patriot	8,42	1088	-533
.300 Dakota	11,66	990	-584
.300 Weatherby Magnum	10,7	1021	-568
.300 Remington Ultra Mag	11,66	990	-586
12,7x 99	48,5	883	-570

È doveroso ricordare comunque che solo un cacciatore indegno spara a distanze superiori a 300 metri: è troppo elevato il rischio di colpire il selvatico in punti non vitali, oppure di ferirlo senza una sufficiente energia del proiettile, così condannandolo ad una inutile morte lenta. Si calcola che una delle cause principali di diminuzione di caprioli su di un territorio sia proprio attribuibile a certi sciagurati cacciatori che non rinunziano mai a sparare, qualunque sia la distanza.

IL TIRO VENATORIO A PALLA

La scelta di un calibro venatorio per una determinata caccia rappresenta un po' la quadratura del cerchio in quanto bisogna trovare l'equilibrio fra diverse esigenze.

Il cacciatore ha l'esigenza di un tiro teso che gli consenta di mirare senza preoccuparsi della distanza di tiro e non mancano le cartucce che consentono traiettorie tese, con uno scarto non superiore a 4 cm rispetto alla linea di tiro, fino ad oltre 230 metri. Queste cartucce però debbono imprimere al proiettile una elevata velocità iniziale superiore ai mille m/s, il che richiede proiettili leggeri; il proiettile leggero perde più energia di quello pesante a lunga distanza e perciò nei piccoli calibri si rischia di non avere più l'energia sufficiente ad assicurare l'abbattimento del selvatico.

Perciò nella scelta del calibro è sempre necessario chiedersi quale sarà la distanza normale di impiego. Ad esempio per il capriolo si considera distanza massima quella di 200 metri il che consente una ampia scelta tra cartucce con distanza di azzeramento attorno ai 170 metri.

Il cacciatore ha l'esigenza di usare munizioni che abbattano sul posto il selvatico. La scienza venatoria è giunta alla conclusione che al riguardo sono determinanti due fattori:

- la capacità di lavoro (in senso fisico-meccanico) del proiettile, cioè la sua capacità di lacerare tessuti con conseguente maggior shock doloroso, il che significa proiettile con molta energia e in grado di trasmetterla interamente al bersaglio;
- la capacità di provocare uno shock nervoso con riflessi inibitori che è maggiore quando vengano colpiti organi in modo simmetrico, il che significa che il proiettile deve penetrare quanto più possibile dentro il bersaglio.
- la capacità, se possibile, di provocare uno shock idrodinamico il che richiede però una velocità di almeno 800 m/s.

Il cacciatore ha però ulteriori esigenze rispetto a polizia e militari:

- Il proiettile deve, per quanto possibile, trapassare il bersaglio perché è dal foro di uscita che esce la maggior parte del sangue, utile per seguire la traccia dell'animale solamente ferito;
- Il proiettile non deve danneggiare la carne e la pelle del selvatico più del necessario.

Sotto questo profilo è evidente che il proiettile migliore sarebbe quello totalmente camiciato; ma purtroppo esso è anche quello che cede la minor energia al bersaglio!

Veniamo ora ai calibri che per il capriolo, che è alquanto fragile e a cui non si spara a grandi distanze, vanno dai 5,6 ai 6, 5 mm.

L'energia minima necessaria per abbattere il capriolo si calcola attorno ai 100 kgm (moltiplicando per 9,81 si ottengono 981 joule) (200 kgm per il camoscio e 300 kgm per il cervo) purché il proiettile ceda tutta l'energia ed abbia una velocità alta all'impatto.

Il cinghiale ha un peso che va dai 60 ai 300 kg, anche se animali così grossi si trovano ancora solo nell'est europeo; da noi bisogna prevedere la possibilità di incontrare animali fra i 100-150 kg.

La distanza di tiro è sempre limitata e difficilmente si superano i 50 metri.

L'energia minima richiesta viene calcolata in 2000 joule, la quale viene raggiunta da una buona palla slug o da un proiettile di carabina a canna rigata di almeno 7 mm. Se si prevede di cacciare animali oltre 200 kg si può arrivare utilmente fino ad un calibro di 9 mm.

Nel cantone svizzero dello Jura si consente anche l'uso di pallettoni di almeno 7 mm di diametro (due grammi di peso). In Belgio la società Royal St-Hubert consiglia il fucile con palla slug.

Non occorre perciò una palla per lunghe gittate e con tiro teso, ma una palla che provochi un forte effetto di choc.

La precisione dell'arma è secondaria perché nella caccia al cinghiale è richiesto un tiro rapido che non dà il tempo di una mira accurata: l'ideale è un'arma di rapida imbracciatura, con una buona linea di mira, da usare con cariche e palle standard che sono calcolate per dare un rinculo accettabile.

Di recente in Italia si vanno sviluppando mode assurde come l'impiego di carabine che usano munizioni per arma corta. Sono

munizioni del tutto inadeguate con energia fra i 1000-1500 Joule, a meno di ricorrere a cariche esasperate ben poco giustificabili.

Precisione dell'arma

Il selvatico deve essere colpito nella zona polmoni-fegato-cuore, meglio nella parte alta, il che corrisponde, per un capriolo ad un bersaglio di 15 cm di altezza e un po' di più in larghezza (cervo 22 cm, camoscio 17 cm). L'animale deve essere il più possibile perpendicolare al tiratore; mai si dovrebbe colpire oltre il diaframma. Occorre perciò un'arma sufficientemente precisa in relazione alla distanza a cui si spara perché più essa è grande più aumenta il cerchio della dispersione. Un buon fucile a 100 metri mette 5 colpi entro 40 mm. Il peggiore accettabile in 75 mm. Con un fucile non ottimale si può quindi sparare al bersaglio, ma senza superare certe distanze.

Dispersione	Capriolo	Cervo
40mm	200m	300m
50mm	150m	225m
60mm	130m	200m
75mm	120m	175m

Emorragia: un selvatico contiene 56 gr sangue per chilo; si ha la morte se si perde 1/3 del sangue; in un capriolo di 12 kg di peso si avrà 12/3 x 56 = 224 gr di sangue.

Il tiro con palla slug

Un proiettile per essere preciso deve essere stabilizzato. Nei fucili a canna rigata la stabilizzazione si ottiene imprimendo al proiettile a forma allungata, anche fino a 5 calibri, un rapido movimento rotatorio. Nei fucili a canna liscia non è possibile imprimere al proiettile una sufficiente rotazione e si deve ricorrere all’altro sistema consistente nell’ impennatura del proiettile mediante alleggerimento della parte posteriore con una cavità alla base oppure mediante il fissaggio di una borra alla base del proiettile, così che (in entrambi i casi) il centro di gravità risulti spostato in avanti. Possono anche essere aggiunte alette stabilizzatrici; queste comportano una leggera perdita di precisione, ma consentono di usare

proiettili molto più lunghi (e quindi con maggior densità sezionale, come frecce e missili), che conservano la stabilità anche in traiettorie molto curve e non richiedono di essere sparati in canne rigate.

Il problema di costruire proiettili per fucili a canna liscia dotati di precisione e di lesività, ha assillato centinaia di inventori che nell'ultimo secolo hanno brevettato un incredibile numero di invenzioni, più o meno fantasiose. Alla fine però si è visto che non ci si può discostare dalla soluzione sopra vista e al momento le palle più affidabili sono quelle che uniscono una palla in piombo ad una borra (talvolta sagomata per aumentare l'effetto di impennatura), come avviene nella palla Brenneke e nella palla Gualandi. La palla Blondeau, francese, assomiglia un po' ad un grosso diabolo.

L'unica vera innovazione in materia di slug è rappresentata dalla palla munita di impennatura con alette inventata nel 1983 dal francese ing. Sauvestre (progettista anche del proiettile anticarro a freccia in uso nell'esercito francese) che usa un proiettile sottocalibrato, munito di sabot di plastica che si distacca a breve distanza dalla bocca dell'arma.

Esso viene sparato con una velocità iniziale di circa 500 ms (580 ms nel 12 magnum che usa lo stesso proiettile di 26 grammi) e a 100 metri ha ancora una velocità di 375 ms (430 per il magnum) con un'energia di 1850 J (2440 J per il magnum). A questa distanza un vento trasversale di 10 ms (cioè una forte brezza che muove cespugli ed alberelli) sposta una palla slug normale di ben 75 cm, la palla Sauvestre di 30 cm, un proiettile per carabina di una diecina di centimetri.

Si tenga presente che le doppiette sono poco adatte a sparare palle slug. Le armi destinate a sparare a pallini sono azzerate per un tiro a 35 metri e le due canne sono accoppiate in modo che le rispettive rosate si sovrappongano a tale distanza; le canne sono, per così dire, strabiche, e convergono su un punto ideale posto a 35 metri. Sparando a cinquanta metri di distanza accade che la palla sparata con la canna di destra, colpisca parecchi centimetri a sinistra del punto mirato e quella di sinistra parecchi centimetri verso destra, con una differenza totale che fa apparire la rosata come disastrosa. Quindi il problema non sta nel fatto che la palla non sia

precisa, ma nel fatto che il fucile non spara nel punto mirato. Ovviamente se il bersaglio è a distanza maggiore, il difetto si aggrava proporzionalmente.

Questo difetto non si verifica per sovrapposti e per fucili ad una sola canna, ma quasi sempre subentra il secondo difetto, quello dell'azzeramento, che fa sparare molto più in alto (fino a 35 metri) o più in basso (oltre i 40 metri) del punto mirato. I fucili a canna liscia sono azzerati per la distanza di 35 metri in modo che il centro della rosata sia 10-15 cm al di sopra del punto mirato, misura non adeguata per una palla che a quella distanza cade di soli 5 cm circa. Per far sì di avere una traiettoria che non si discosti dalla linea di mira più di 4 cm (sopra o sotto), l'arma dovrebbe essere azzerata, usando palle Brenneke o Gualandi, alla distanza di 70 metri e, usando palle Sauvestre, alla distanza di 100 metri.

Vediamo un esempio pratico con una palla tipo Gualandi o Brenneke del peso di 28 gr e una velocità iniziale di 500 ms., tenendo presente che i valori di velocità iniziale indicati dai produttori sono sempre indicativi perché la velocità effettiva varia poi a seconda del caricamento della cartuccia e della lunghezza della canna.

Con azzeramento a 70 metri la traiettoria del proiettile sarà sopra la linea di mira di 3 cm a 50 metri, a 90 metri sarà al di sotto di essa di una diecina di cm, più che accettabili per una tale distanza, senza cannocchiale.

Se invece l'arma fosse stata azzerata a 35 metri, il proiettile a 75 metri si sarebbe già trovato più in basso del punto mirato di una diecina di cm che, a 100 metri, sarebbero diventati una ventina.

La palla Sauvestre, più leggera e più aerodinamica, con velocità iniziale di 580 ms, può essere azzerata a 107 metri così che a 120 metri lo scarto rispetto alla linea di mira è di soli 5 cm. Se essa viene sparata con arma azzerata a 35 metri, lo scarto a 100 metri è di circa 10 cm e a 75 m di circa 5 cm.

La conclusione è quindi che con fucile sovrapposto o semiautomatico a canna liscia, che non sia stato azzerato opportunamente, si possono sparare slug con sufficiente precisione purché il bersaglio non si trovi oltre i 60 metri; il che vuol dire che queste armi vanno benissimo nella stragrande maggioranza delle situazioni che si presentano nella caccia in battuta. La situazione non cambia se

invece di palle di peso inferiore ai 30 gr, si sparano cartucce magnum con palla di circa 40 gr. Si guadagna in energia iniziale, ma la traiettoria è più o meno la stessa.

Tutte le prove eseguite concordano nel ritenere pressoché equivalenti le palle Brenneke, Gualandi e Blondeau; le palle Solengo e quelle con sabot della Federal e Winchester sono risultate molto meno precise (a 50 metri rosata di 8-10 cm, contro i 4-5 cm delle precedenti). Dal che si ricava che nel fucile a canna liscia il sabot è controproducente, salvo che nel caso della Sauvestre con impennatura a freccia.

Il potere di arresto della palla slug è adeguato. Se si considera che il fucile a canna liscia per la caccia al cinghiale o ad altri animali aggressivi, viene scelto per la sua maneggevolezza perché quando occorre sparare nel bosco o con prontezza di riflessi, consente di sparare al selvatico quasi "al volo", cosa impraticabile con una carabina a canna rigata (non foss'altro perché manca l'allenamento ad imbracciarla per un tiro istintivo) è chiaro che si può anche rinunziare ad un po' di potere d'arresto che, comunque è più che sufficiente. Una palla asciutta perde in 50 metri di volo circa un quarto della sua velocità; perciò la palla da 39 gr, con velocità iniziale di 460 ms, a 50 metri ha un'energia di circa 2300 Joule; la palla di circa 30 grammi a 50 metri conserva una velocità di circa 340 ms e quindi un'energia di circa 1700 J. Alle normali distanze venatorie, con proiettili studiati per consentire la massima cessione di energia al selvatico, si è quindi nell'ambito di energia e velocità che, secondo gli studi compiuti, consentono di ferire a morte un animale sui 50 kg di peso. A 100 metri la velocità si riduce a circa sei decimi di quella iniziale e i valori sopra indicati diverrebbero, rispettivamente, di circa 1500 e 1100 J, ampiamente al di sotto dei valori ottenibili con una carabina, salvo che si usi la palla Sauvestre che, nel calibro 12 magnum, è paragonabile al 7x64 o all' 8x57, avendo un'energia di 3250 J a 50 metri e di 2440 J a 100 m..

CALCOLO DELLA TRAIETTORIA DEI PALLINI DA CACCIA

In questo capitolo tratteremo della traiettoria dei proiettili sferici ed in particolari di quelli che vengono sparati, come palla singola o come pallini nei fucili da caccia.

I pallini quando escono dalla bocca dell'arma formano un blocco ancora alquanto compatto, salvo pochi pallini deviati in modo anomalo per urti contro il vivo di volata. Già a pochi metri dall'arma però, l'aria si fa strada tra i singoli pallini i quali iniziano a risentire l'influsso della sua resistenza in modo diverso, a seconda del peso, a seconda delle deformazioni subite per il contatto con l'anima della canna o per compressioni nella cartuccia, a seconda degli urti reciproci ecc. I pallini vengono così a formare uno sciame allungato con la maggior concentrazione verso la sua parte anteriore (il centro di gravità della rosata si colloca all'incirca a 2/3 della sua lunghezza). Ma sul tiro venatorio ritorneremo in un altro capitolo. Qui ci occuperemo della traiettoria del pallino singolo

Per calcoli di estrema precisione, quali non si richiedono nella pratica venatoria, deve tenersi presente il fatto che la resistenza dell'aria sui singoli pallini che si trovano ancora molto ravvicinati l'uno all'altro è minore di quella che il pallino subirebbe se fosse isolato. Di conseguenza, i pallini sparati da una canna strozzata presentano nei primi 15-20 metri di volo una diminuzione di velocità minore rispetto ai pallini sparati da una canna cilindrica e ancor minore rispetto ad un pallino supposto viaggiare da solo.

Per il calcolo della ritardazione subita dai singoli pallini possono usarsi le tavole del Lowry, riportate in appendice al libro, le quali consentono di ottenere risultati soddisfacenti purché si scelga bene il coefficiente di forma, a seconda dell'ambito di velocità in cui si opera.

Ad esempio impiegando le tavole GL del Lowry, si hanno risultati esatti se per una velocità iniziale pari a 360 m/s e pallini

del diametro di 3-4 mm. si adotta il coefficiente di forma i=2,2, mentre per pallini da 2 mm. si deve adottare i=2,4. Per una palla sferica cal. 12 (=18,5 mm) il coefficiente da adottarsi sarebbe i = 1,65.

Per una maggior precisione può farsi ricorso alle tavole di ritardazione compilate dal Journée[1] proprio per proiettili sferici e che riporto in appendice al libro

L'uso di esse è il seguente.

Ricordo che il peso di una palla di piombo è dato da

$$P_{gr} = 0{,}52359 \cdot D_{mm} \cdot d$$

In cui D è il diametro e *d* il peso specifico della lega di piombo per pallini (si assume essere pari a 0,011; è 0,014 per il piombo puro).

In primo luogo bisogna calcolare il coefficiente balistico della palla

$$Cb = \frac{\delta \cdot D^2}{P}$$

in cui δ indica la densità dell'aria in kg/m^3

D indica il diametro in metri

P indica il peso in kg

Se si vuole eseguire il calcolo un millimetri m e grammi sarà

$$Cb = \frac{\delta \cdot D^2}{P \cdot 1000}$$

Esempio: Cb del pallino di 3 mm.

$$Cb = \frac{1{,}22 \cdot 0{,}003^2}{0{,}0001566} = 0{,}07$$

oppure: Cb della palla sferica cal. 12 :

$$Cb = \frac{1{,}22 \cdot 0{,}00185^2}{0{,}037} = 0{,}01128$$

Sia ora da trovare la velocità residua a 100 metri della palla sferica cal. 12 sparata con V = 360 m/s.

Dalla tavola si legge che il valore di R relativo a V=360 è 1,6208; a questo valore si aggiunge ora il valore del coefficiente balistico moltiplicato per la distanza considerata e quindi

Cb*100 = 0,01128 *100 = 1,128

---

[1] A. Journée, *Tir des fusils de chasse*, Parigi, 1947

La somma così ottenuta ci dà un nuovo valore di R

$$R = 1,6208 + 1,128 = 2,7488$$

in corrispondenza del quale leggiamo la velocità ricercata pari a poco più di 260 m/s (il valore esatto può ricavarsi per interpolazione secondo il metodo spiegato nelle istruzioni per l'uso delle tavole del Lowry).

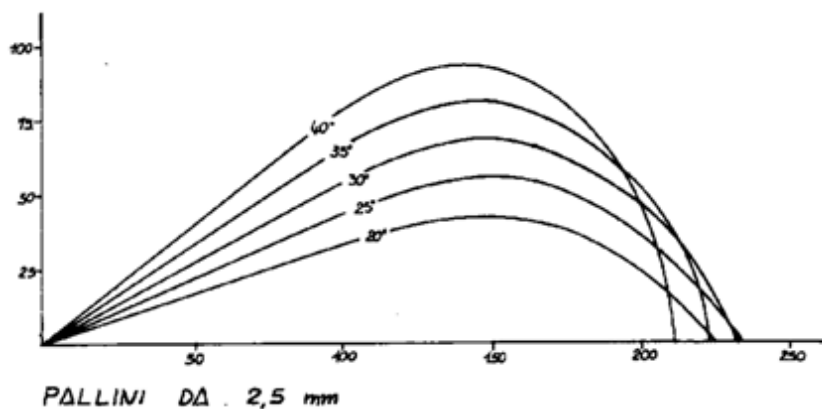
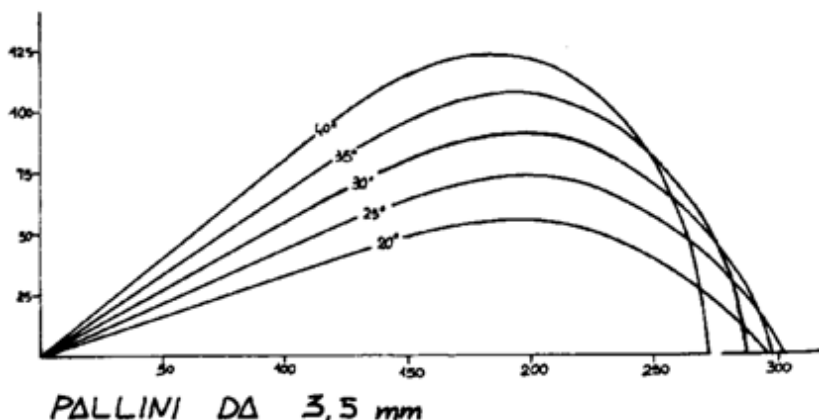
La seconda colonna della tavola consente di calcolare i tempi di volo.

Proseguendo nell'esempio, in corrispondenza di V= 260 si legge il valore T = 0,007010 e in corrispondenza di V= 360 il valore di T = 0,003290.

Il tempo di volo sarà dato dalla differenza di questi due valori divisa per il coefficiente balistico e cioè

$$t = \frac{0,007010 - 0,003290}{0,01128} = 0.239\ s$$

Una volta calcolati i tempi di volo e le velocità residue alle varie distanze, gli altri elementi della traiettoria possono essere calcolati con uno qualunque dei sistemi già esposti per le armi a canna rigata.

A titolo di esempio si riportano, dal Lampel, le traiettorie, relative a diversi angoli di proiezione, dei pallini di mm.2,5 e mm. 3,5.

Formula approssimativa

Per un calcolo approssimativo della perdita di velocità di un proiettile su di una determinata tratta si può ricorrere alla seguente formula, precisa per pallini di 4 mm, ma accettabile per pallini da 2 a 6 millimetri di diametro nell'ambito delle distanze venatorie 25-60 metri).

La formula è

$$V = V_0 \cdot 0{,}9557^{\frac{D}{d}}$$

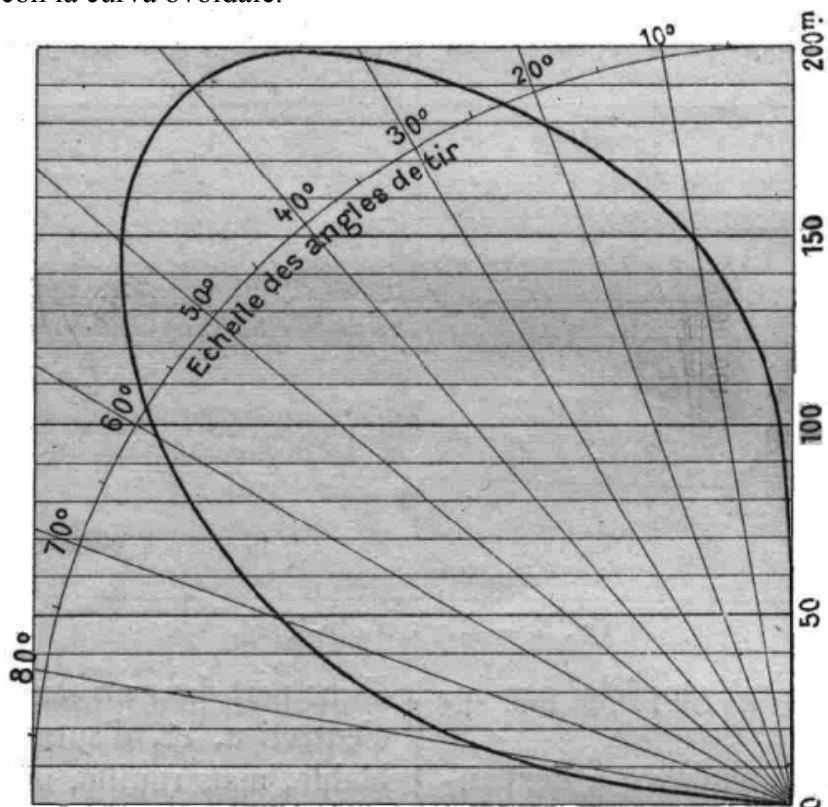
in cui V è la velocità finale, D la tratta in metri e d il diametro del pallino in mm.

Gittata massima dei pallini

La gittata massima dei pallini si ottiene con angoli di proiezione che vanno da 14° per i pallini da 1 mm. a 25° per le palle cal. 12.

Con formula empirica la gittata massima in metri può considerarsi pari a 80 volte il diametro del pallino in millimetri; in effetti gli esperimenti con pallini aventi la velocità iniziale di 375 m/s, hanno dato i seguenti risultati

Diametro mm	Gittata m	Diametro mm	Gittata m
1	90 m	4	315
2	170	5	380
2,5	210	6	440
3,5	280	18,5	1060

Riporto qui l'immagine tratta da uno dei primi studi di Journée, da cui si ricava la gittata di un pallino di circa 3 mm di diametro a seconda dell'angolo di tiro. La gittata si legge sulla linea orizzontale che passa per il punto di incontro della linea dell'angolo di tiro con la curva ovoidale.

Per le palle tipo Brenneke la gittata massima è di 1200-1400 metri, il che richiede una notevole prudenza nel loro impiego.

La preparazione della polvere

LA ROSATA

Lo sparo con la cosiddetta munizione spezzata, vale a dire con pallini o pallettoni, presenta la caratteristica che si crea uno sciame allungato di pallini con una sua particolare dinamica interna; non si deve colpire il bersaglio con un proiettile, ma si deve far sì che il selvatico si venga a trovare nella zona dello sciame più ricca di pallini. Il comportamento balistico di ogni singolo pallino segue le regole che l'aerodinamica impone ad ogni corpo che viaggia nell'aria.

I pallini possono essere di piombo, che però è troppo tenero e si deforma nella cartuccia e nella canna del fucile, oppure di una lega di piombo con antimonio, oppure, per quei casi in cui è vietato l'uso del piombo per ragioni ambientali, di acciaio o di altro materiale.

Un tempo i pallini venivano indicati con numerazioni convenzionali diverse da stato a stato e da regione a regione, con notevole confusione. Dal 1939 in Italia è stata adottata una numerazione unica, ma si usa indicare sulla cartuccia anche l'effettivo diametro del pallino. Il diametro è arrotondato. La dicitura 2/0, 3/0 si legge "due zeri", "tre zeri".

Numerazione italiana dei pallini in uso dal 1939

Numero	Diam/mm	Peso/g	Numero	Diam/mm	Peso/g
14	1,1	0768	1	3,7	0,295
13	1,3	1267	0	3,9	0,346
12	1,5	1946	2/0	4,1	0,403
11	1,7	2835	3/0	4,3	0,465
10	1,9	3955	4/0	4,5	0,534
9	2,1	5347	5/0	5,0	0,736
8	2,3	703	6/0	5,6	1,032
7	2,5	904	7/0	6,2	1,401
6	2,7	0,1139	8/0	6,8	2,380

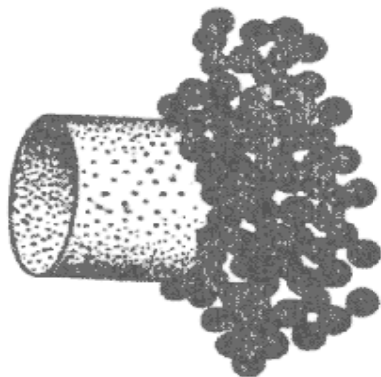
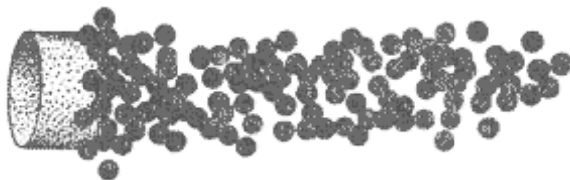
5	2,9	0,1412	9/0	7,4	2,380
4	3,1	0,1728	10/0	8,0	3,010
3	3,3	0,2088	11/0	8,6	3,737
2	3,5	0,2500			

I pallini superiori ad un certo diametro vengono chiamati volgarmente "pallettoni", ma non vi è un criterio uniforme su dove porre la linea di distinzione. In alcuni paesi (Germania, Inghilterra, USA) si usa una denominazione particolare per pallini con diametro superiore a 6 mm, in Italia invece solo per pallini la cui numerazione è indicata in zeri. Non è comunque distinzione che abbia un qualsivoglia fondamento giuridico poiché per la legge si deve solo distinguere fra munizione spezzata e munizione a palla unica.

Riporto qui una tabella con le caratteristiche dei pallini in base al loro diametro. Si è assunto un peso specifico della lega per pallini pari a 11,1 grammi per cm cubo; il piombo da solo ha un peso specifico di 11,4 g/cm cubo. Nella seconda riga sono riportate formule che consentono di calcolare i valori anche per diametri non indicatati in tabella.

Diametro mm	Peso g	Sezione mm^2	Numero in 10 g	Densità sez. g/mm^2
d	$05784 * d^3$	$0,787 * d^2$	$1723 * d^{-3}$	$0,7323 * d^{1,00917}$
1,5	0,01946	1,76923	510	1,1025
1,75	0,03096	2,40731	321	1,2881
2	0,04627	3,14333	215	1,4739
2,25	0,06596	3,97725	151	1,6599
2,5	0,09057	4,90907	110	1,8462
2,75	0,12065	5,93874	82	2,0326
3	0,15677	7,06626	64	2,2191
3,25	0,19948	8,2916	50	2,4058
3,5	0,24932	9,61475	40	2,5926
3,75	0,30685	11,0357	32	2,7796
4	0,37264	12,5544	26	2,9666
4,25	0,44722	14,1709	22	3,1538
4,5	0,53116	15,8851	18	3,3411
4,75	0,62502	17,6971	16	3,5285
5	0,72935	19,6067	13	3,7159
5,25	0,84471	21,6141	11	3,9035
5,5	0,97165	23,7192	10	4,0911
5,75	1,11074	25,922	9	4,2788
6	1,26251	28,2225	6	4,4666

I pallini vengono sparati da canne cilindriche o da canne conformate con particolari modelli e misure di restringimento degli ultimi centimetri di volata, detti strozzature.

I pallini che escono da una canna cilindrica tendono ad allargarsi radialmente perché la resistenza dell'aria ha all'inizio maggior presa sugli strati esterni dello sciame di pallini che non su quelli al centro. Inoltre il borraggio può avere inizialmente una velocità superiore a quella dello sciame e "bucarne" la parte centrale.
La funzione della strozzatura è di evitare questi inconvenienti.

Disposizione dei pallini e borra, sparati con canna cilindrica a 1,2 metri dalla volata

Pallini e borra, sparati da canna molto strozzata, a 1,2 metri dalla volata

In essa i pallini dello strato esterno vengono compressi e rallentati per il maggior attrito e comprimono il gruppo al centro che acquista maggior velocità e li sorpassa; la borra viene frenata e rimane indietro. Inoltre i pallini esterni vengono assoggettati ad una forza che li dirige verso l'asse della canna e compensa quindi la loro tendenza ad allargarsi radialmente; solo i pallini che si sono

molto deformati per l'attrito contro le pareti della canna sfuggono a questo recupero. Il risultato è che lo sciame di pallini si allunga un po' di più rispetto a quello sparato dalla canna cilindrica, ma però un maggior numero di pallini viene indirizzato a viaggiare parallelamente all'asse delle canna. Perciò la dispersione radiale inizia più tardi quando la resistenza dell'aria riesce ad agire all'interno dello sciame, in modo diverso sui singoli pallini (punto di apertura).

L'effetto della strozzatura sulla velocità dei pallini è del tutto trascurabile.

Lo scopo della strozzatura non è quello di concentrare al massimo la rosata di pallini, ma quello di avere, alla distanza voluta, la copertura ottimale della rosata che deve avere una certa dimensione per garantire che il bersaglio venga colpito senza troppa difficoltà, ma da un numero di pallini sufficiente ad ucciderlo.

Come si è detto i singoli pallini acquistano velocità e direzioni diverse per effetto delle variazioni di forma entro la canna, e conseguente spostamento del centro di gravità, per le diverse forze a cui vengono assoggettati dalla strozzatura, per gli urti reciproci entro la canna e fuori di essa; la strozzatura allunga lo sciame e perciò diminuiscono le probabilità che pallini arretrati, ma di forma migliore, raggiungano pallini anteriori deformati e che entrambi rimbalzino fuori dello sciame. Si consideri che il 10-15% dei pallini è fortemente deformato e che almeno un terzo dei pallini ha qualche deformazione (pallini da 2 mm; la percentuale sale fino al 65% per pallini da 4 mm).

I pallini poi non viaggiano sempre in modo rettilineo, ma, come ogni altro proiettile, con deviazioni spiraliformi attorno alla linea di traiettoria: se si spara a 20 metri ad un bersaglio la cui metà sinistra è imperforabile, si vede che a 40 metri la metà sinistra di un secondo bersaglio viene egualmente colpita da pallini che a 20 metri si trovavano necessariamente sul lato destro.

Le dimensioni e la distribuzione della rosata vengono rilevate con un bersaglio posto ad una data distanza e, salvo alcuni pallini anomali, la sua forma è pressoché circolare; la distribuzione dei pallini entro questo cerchio è alquanto imprevedibile, ma è evidente che in una buona rosata la densità deve essere maggiore al

centro che non ai margini. Avviene così che un corpo avente la superficie frontale di 90 cm^2 (corrispondente ad una pernice), viene colpito da numerosi pallini se si trova al centro della rosata e da un minor numero di pallini se si trova spostato verso il suo margine. Siccome il selvatico deve essere colpito da più pallini, si avrà una buona rosata quanto più uniformemente i pallini sono distribuiti all'interno del cerchio, così che in ogni suo punto il selvatico abbia le stesse probabilità di essere colpito dal numero di pallini richiesto, visto che non è facile coglierlo proprio al centro della rosata!

A breve distanza si avrà una rosata piccola e con troppi pallini. Poi la rosata e la dispersione dei pallini aumentano con la distanza finché, alla distanza ottimale di tiro, per una data carica, si avrà la distribuzione dei pallini migliore; aumentando ancora la distanza, aumenta la rosata, ma si restringe via via la zona centrale in cui è garantita la densità richiesta dei pallini.

La velocità iniziale dei pallini ai fini degli studi di balistica viene convenzionalmente assunta come pari a 360 m/s, anche in considerazione del fatto che qualche decina di m/s in più o in meno alla bocca, diventano poi pochi m/s alle distanze venatorie e del fatto che questa risulta essere la velocità ottimale sotto molti punti di vista. Una velocità superiore richiede notevole aumento delle pressioni con un peggioramento della rosata non accompagnato da alcun vantaggio alla maggior distanza raggiungibile. Una velocità inferiore aumenta di molto la bontà della rosata, ma diminuisce troppo la penetrazione del pallino. Se un fucile dà una buona rosata solo con cariche deboli, non è buon fucile.

Nei primi metri di traiettoria non è poi possibile determinare la velocità dei singoli pallini in quanto la carica si comporta aerodinamicamente come un proiettile e ogni pallino inizia ad avere una traiettoria autonoma solo quanto è esposto alla resistenza dell'aria con esclusione degli influssi reciproci con gli altri pallini. La distanza a cui ciò avviene dipende dalla velocità iniziale, dal diametro del pallino, dal tipo e grado di strozzatura e dalla deformazione subita dai pallini.

Il Burrard (studioso inglese) assume come distanza minima quella di 3 yarde (m. 2,75) e misura a partire da essa la velocità iniziale dei pallini. In Germania si usa misurare la velocità a 5 m

dalla bocca, distanza a cui con sicurezza ogni pallino viaggia per conto suo e si riscontra che se essa è pari a 360 m/s, la velocità alla bocca può variare da 385 a 395 m/s a seconda della misura dei pallini, calibro, peso della carica.

Ecco la perdita di velocità dei pallini alle varie distanze posto che la velocità a 5 metri dalla volata sia eguale a 360 m/s:

mm	**Distanza in metri**													
	10	**12,5**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**550**	**60**	**75**	**100**
4,5	338	327	317	299	281	265	250	237	225	214	205	196	176	156
4,25	336	325	314	295	276	260	245	231	219	208	198	189	170	145
4	334	322	311	290	271	254	239	225	213	202	192	183	163	138
3,75	332	319	307	285	266	248	233	219	206	195	185	176	155	125
3,5	330	316	303	281	261	242	226	212	199	187	177	169	147	115
3,25	328	313	300	276	255	236	218	204	191	179	169	161	137	107
3	326	310	296	271	249	229	211	196	183	171	160	150	126	99
2,75	323	306	292	265	241	221	203	188	174	162	151	141	115	80
2,5	320	302	287	258	233	213	194	177	162	150	138	127	99	64
2,25	316	297	281	250	225	203	182	163	148	135	122	111	80	45
2	311	291	273	242	215	190	167	146	128	113	99	88	57	20

Per quanto concerne il tempo di volo ecco il tempo impiegato in centesimi di secondo a percorre varie distanze posto che la velocità a 5 metri dalla volata sia eguale a 360 m/s

mm	**Distanza in metri**											
	10	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**75**
4	2,78	4,33	5,98	7,81	9,64	1,170	1,379	1,611	1,845	2,102	2,362	3,29
3,5	2,78	4,36	6,06	8,0	9,89	1,200	1,423	1,670	1,915	2,200	2,479	3,49
3	2,78	4,39	6,13	8,10	1,013	1,240	1,475	1,742	2,008	2,322	2,615	3,76
2,5	2,78	4,42	6,25	8,31	1,047	1,290	1,551	1,840	2,146	2,472	2,817	4,05
2	2,78	4,48	6,43	8,59	1,097	1,360	1,653	1,975	2,326	2,722	3,160	4,81

Ed infine l'energia in kgm del pallino alle varie distanze, posto che la velocità a 5 metri dalla volata sia eguale a 360 m/s

mm	**Distanza in metri**												
	5	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	55	60	75
4	2,44	2,06	1,77	1,54	1,34	1,18	1,04	0,92	0,83	0,74	0,67	0,61	0,48
3,5	1,65	1,38	1,17	1,00	0,86	0,75	0,65	0,57	0,50	0,45	0,40	0,35	0,27
3	1,06	0,86	0,72	0,60	0,50	0,43	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,13
2,5	0,60	0,48	0,38	0,31	0,25	0,21	0,18	0,15	0,12	0,10	9	8	5
2	0,31	0,23	0,18	0,14	0,11	9	7	5	4	3	2	2	1

La curvatura della traiettoria dei pallini può essere trascurata perché ampiamente compensata dalle dimensioni della rosata così

da non richiedere compensazioni al momento della mira. Un pallino di 2,5 mm cade di 1,9 cm a 20 m, di 5,5 a 30, di 12,3 a 40 metri; un pallino di 3,5 mm cade di 1,8 a 20 m, di 4,9 a 30, di 10,3 a 40 e di 19,3 a 50 metri. I fucili del resto sono tarati a 35 metri di distanza e a 10-15 cm sopra il centro ideale della rosata così che lo scarto massimo effettivo non supera i 10-15 cm

Come detto, mentre la rosata sul bersaglio viene rappresentata come un cerchio, in effetti i pallini formano uno sciame allungato con una maggior presenza di pallini nella parte anteriore; se si divide lo sciame in due parti contenente lo stesso numero di pallini, si constata che il punto di divisione (centro di gravità dello sciame) si trova ad 1/3 dai pallini di testa.

Sperimentalmente non si rilevano significative influenze della temperatura, dell'umidità dell'aria, dell'altitudine, sulla velocità iniziale e sulla traiettoria, anche se i cacciatori usano aumentare le cariche in inverno (ma in inverno gli animali sono più protetti da piume e pelo e l'umidità può essere penetrata nella cartuccia).

Maggiore e significativa può essere l'influenza del vento laterale, specialmente se si spara verso l'alto (a terra il vento e minore e vi è la protezione di piante e cespugli). Con un vento di 5 m/s un pallino di 2,5 mm viene spostato di 10 cm a 25 m, di 20 cm a 35, di 35 cm a 45 m. (le deviazioni si raddoppiano se il vento soffia a 10 m/s). Bisogna però tenere presente che nel tiro a volo anche il selvatico viene spostato nella stessa direzione dei pallini.

La carica di pallini

Il peso della carica di pallini per un dato calibro non può variare di molto: una carica troppo pesante aumenta la pressione dei gas ed aumenta il rinculo; se l'arma è pesante si può usare una carica maggiore perché il rinculo sarà minore; un'arma leggera richiede una carica leggera per non avere un rinculo poco piacevole. La carica normale per un cal. 12/70 è di 35-36 g, per un 16/70 di 30-31 g, per un 20/70 di 26-27 g. In cartucce maggiorate (Magnum, Super speed) si può però arrivare fino a cariche di 46 grammi per il calibro 12.

Quando si usano pallini di grosse dimensioni, il peso della carica può essere aumentato un poco, senza che si verifichi un aumento

di pressione perché con più i pallini sono grossi, tanto minore è l'attrito fra i singoli pallini. Il problema dell'attrito è ora divenuto secondario per l'uso di borre di plastica che racchiudono il pallino fino all'uscita dalla canna.

La carica di pallini può essere molto variabile in relazione al tipo di cartuccia impiegata (magnum, super magnum, ecc)

La carica standard è la seguente

Carica di piombo

Calibro	Peso in grammi
12	33
16	28
20	25
24	20
28	17
32	14
36	10

In realtà le cariche possono così variare

Calibro nominale	**Dose minima g**	**Dose massima g.**
12	28	36
12 magnum	28	46
12 supermagnum	28	54
16	24	32
20	21	28
20 magnum	21	36
24	17	21
28	14	18
32	11	16
36	7	14
.410 magnum	4	21

L'aumento di diametro della rosata

In molti testi si legge che l'aumento della rosata non sarebbe proporzionale alla distanza dall'arma, ma un po' minore. Ciò ovviamente non può avvenire, in contrasto con le leggi della fisica. I pallini hanno un comportamento diverso nei primi 10-12 metri di percorso rispetto al tratto successivo e se si prende in esame l'in-

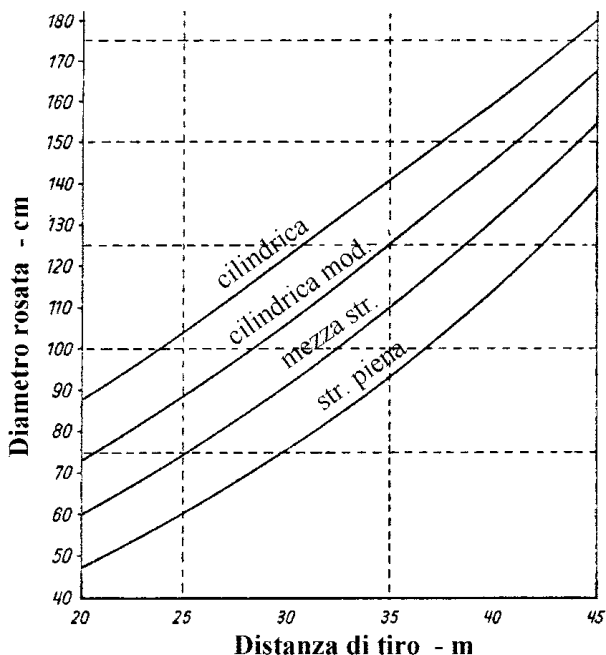
tera traiettoria, effettivamente si riscontra la non linearità dell'allargamento. Se però si stabilisce la dispersione a 35 m, la dispersione a 25 m o a 45 m non potrà che essere proporzionale alla distanza. Ciò non è accertabile con precisione assoluta per il fatto che i pallini, come si è detto, procedono con un moto spiraliforme e di conseguenza la distribuzione sul bersaglio in un dato istante finisce per essere casuale e non predeterminabile. Inoltre una misurazione esatta richiede un bersaglio molto ampio che consenta di visualizzare tutti i pallini; la valutazione cambia infine notevolmente a seconda che si consideri l'intera rosata oppure solo la sua parte centrale. Si ripete perciò che è fonte di errore (ad esempio) valutare le dimensioni della rosata a 40 m in base alla rosata misurata a 10 m.

L'aumento della dispersione è maggiore per i pallini piccoli che per i pallini grossi. Quelli piccoli iniziano a disperdersi più vicini all'arma e si deformano più facilmente dei pallini grossi. Se si prendono in considerazione tutti i pallini della rosata, anche i più esterni, si riscontra così che la dispersione dei pallini di 2,5 mm può essere superiore del 50% a quelle dei pallini di 3,5 mm. Se si prende in considerazione solo la parte centrale della rosata, in cui si trovano l'8% dei pallini, si ha una dispersione superiore solo del 10-25 %. Lo stesso fenomeno non si riscontra più con pallini di 4 mm! Va detto però che ogni strozzatura provoca una diversa dispersione così che ha poco senso cercare di elaborare una teoria generale.

In linea molto approssimativa si può ritenere che se su di un bersaglio di dimensioni qualsiasi, alla distanza di 35 metri si contano 100 pallini, alle diverse distanze si avrà il seguente numero di pallini:

Distanza	Strozzatura media	Strozzatura stretta	Strozzatura strettissima
30	125	127	
35	100	100	100
40	80	75	72
45	64	56	52
50	52	43	36
55	42	33	28
60	34	24	

Bisogna quindi fare molto attenzione alle canne troppo strozzate perché oltre la distanza per cui si cerca di avere la concentrazione ottimale, la dispersione della rosata può poi aumentare in modo da essere del tutto insufficiente.

Per valutare molto approssimativamente le dimensioni dell'intera rosata alle varie distanze senza tener conto del diametro dei pallini, si può fare ricorso al seguente diagramma

Dispersione dei pallini

Il diametro della rosata non aumenta in modo lineare con l'aumentare della distanza; vale a dire che se a 10 metri la rosata ha un diametro di 15 cm, alla distanza di 20 metri essa non sarà di 30 cm, ma un poco più ampia.

È impossibile fornire una regola matematica che consenta di calcolare con precisione la dispersione dei pallini, anche perché ogni strozzatura ha, in definitiva, un suo particolare comportamento.

A titolo puramente orientativo si riporta una tabella in cui sono indicate le dispersioni medie.

La tavola indica il raggio del circolo che contiene il 50% dei pallini, posto il raggio a 5 metri eguale ad uno.

La prima colonna indica la distanza in metri; la prima riga il diametro dei pallini in mm.

Esempio: Sparando alcuni colpi con un fucile a canna strozzata e pallini da 2,5 mm si determina che il raggio del circolo contenente il 50% dei pallini alla distanza di 5 metri è di 3,5 cm; quale sarà il raggio del circolo a 60 metri?

Dalla tavola si ricava un coefficiente pari a 22 e quindi si avrà
22* 3,5 = 77 cm

m **D**	**1,5**	**2**	**2,25**	**2,5**	**2,75**	**3**	**3,25**	**3,5**	**4**	**5**
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1.97	1,96	1,96
15	3,4	3,2	3,16	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
20	5,0	4,37	4,5	4,2	4,2	4,3	4,0	4,0	4,0	3,9
25	6,9	5,9	5,8	5,5	5,5	5,3	5,4	5,4	5,5	5,7
30	9,4	7,8	7,4	7,0	7,0	7,0	7,1	7,2	7,2	7,2
35	12	9,7	9,7	9	8,6	9	6,6	8,8	8,6	8,6
40	15,5	12,5	12	11	11	11	11	11	11	11,4
50	23,5	18,7	18	17	16,5	16	16	15,7	15,8	16
60	33,5	24,4	23,5	**22**	21	20,5	21	21	21	21,4
70	47,5	31,2	30	28	27	26,5	26,8	26,6	26,6	27
80	64	36,7	36,6	34,5	33,5	32,5	32,6	32,7	32,7	32,7
90	-	54,7	50	43	43	42,5	42	41	40	41
100	-	-	59	55	53	51	50,5	49,5	48,5	49

Le dimensioni della rosata non sono correlabili al calibro dell'arma; in piccoli calibri si riscontra sovente un maggior numero di pallini con traiettoria anomala.

Si ripete comunque che è impossibile dare indicazioni che non siano approssimative. Fucili aventi canne con identiche dimensioni interne e strozzatura identica al centesimo di millimetro, hanno prestazioni differenti e basta la cromatura delle canna per modificarle.

Un’approssimativa valutazione delle dimensioni della rosta alle gittata massima dei pallini è importante per valutare il rischio di

persone che si trovino a quella distanza e in quella direzione. Esperimenti svolti in Germania hanno dato i seguenti risultati

Distanza in m	**Diametro rosata in m**	
	Pallini di 2,5 mm	Pallini di 3,5 mm
30	2,5	1,9
40	3,8	2,9
60	7	5,3
80	11	8,3
100	17	12,8
120	26	19,5
140	38	28,5
160	58	43,5
180	80	51

Ciò significa che se si spara verso un selvatico con pallini di 2,5 mm e dietro di esso, a 180 metri di distanza, vi è una persona, questa può essere colpita (sia pure senza lesioni) anche se si trova spostata di 40 metri rispetto alla linea di tiro! Questo senza tenere conto di possibili rimbalzi, di deviazioni anomale, di cartucce con dispersore (che dànno a 20 metri il bersaglio che altrimenti si avrebbe a 35 m), di strozzatura per skeet, ecc..

Secondo le norme di prudenza elaborate in Germania, quando si caccia con altre persone, non si dovrebbe sparare verso di loro sotto un angolo minore di 10 gradi; ciò significa che a 40 metri di distanza il compagno deve trovarsi almeno a 7 metri a lato rispetto alla lepre (a 20 gradi e a 14 metri se si usa un dispersore). Non sarebbe male che ogni cacciatore si abituasse a valutare istintivamente questo angolo.

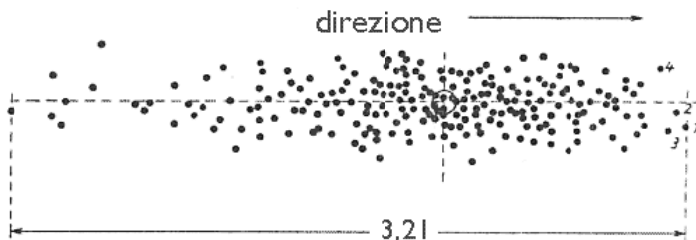
La lunghezza della rosata

La lunghezza della rosata non deve essere confusa con la lunghezza dello sciame di pallini sul terreno.

Se si spara su di uno specchio d'acqua, verso un anatra ad una trentina di metri, è facile constatare a vista che i pallini colpiscono una striscia di acqua lunga più di 10 metri. Questa striscia non deriva dal fatto che lo sciame di pallini assume una forma allungata, ma da un normale fenomeno balistico. Se a 35 metri l'intera rosata

ha un diametro di circa un metro, vuol dire che alcun pallini si troveranno al livello dell'acqua ed altri a mezzo metro circa da essa, alcuni più veloci, altri più lenti; percorrono perciò traiettorie diverse e i pallini più lenti o più bassi colpiranno l'acqua circa 20 metri prima dell'anatra, quelli più alti e più veloci a circa 20 metri dopo l'anatra (dati puramente esemplificativi, ovviamente); la conseguenza è una lunga strisciata di pallini sull'acqua e una differenza di tempo di volo tra pallini anteriori e pallini posteriori di 0,2- 0,3 secondi. Ciò non significa ovviamente che non sia importante mirare bene un selvatico che fugge davanti a noi in linea retta perché comunque la concentrazione richiesta di pallini si ha solo attorno al punto mirato.

La lunghezza dello sciame di pallini

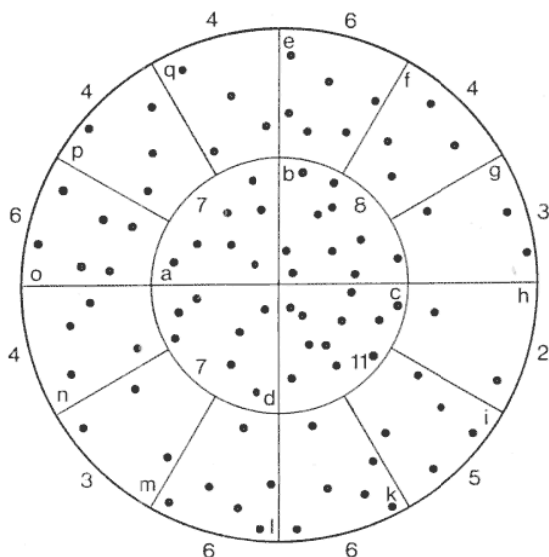
Il problema delle dimensioni e disposizione dello sciame di pallini lungo la traiettoria, è stata oggetto di numerosi studi i quali, in fin

dei conti, hanno concluso che è un problema di scarso interesse. In modo abbastanza indipendente da carica e da strozzatura, i pallini si allungano in uno sciame a forma di grappolo d'uva, con la parte più ampia in avanti e che a 35 metri di distanza è lungo 3-3,5 metri al massimo, ma anche minore se i pallini sono uniformi e non deformati. I pallini migliori si troveranno ovviamente nella parte anteriore e quelli deformati o più piccoli nella parte posteriore. Il centro più nutrito della sciame, che contiene circa il 75% dei pallini, si trova a circa un terzo (un metro circa) dai pallini anteriori.

Se si spara ad una lepre che passa di traverso a 35 metri, supposta una velocità finale di 226 m/s per pallini di 3,5 mm, questi impiegheranno circa 0,144 secondi a colpire il bersaglio; siccome gli ultimi sono tre metri indietro ne impiegheranno 0,131 con una differenza di 0,013 secondi. Ammesso che la lepre abbia fretta e corra alla velocità di 15 m/s, in quel tempuscolo potrà percorrere solo

una ventina di centimetri e perciò non potrà uscire dalla parte nutrita della rosata. Se però il cacciatore ha mirato bene, con il giusto vantaggio, in modo che i primi pallini colpiscano la testa, i pallini del centro dello sciame, a circa un metro dai primi, la colpiranno dopo che la lepre avrà percorso meno di 10 centimetri, vale a dire alla spalla. Se si fa lo stesso calcolo per un fagiano che viaggia a 25 m/s di velocità, i dieci centimetri diventano circa 15.

Quale curiosità ricordo che certi cacciatori pasticcioni usavano mescolare pallini grossi a pallini piccoli convinti di avere così una cartuccia buona per tutti gli usi. È una emerita sciocchezza perché così facendo si ottengono, dopo una diecina di metri, due sciami perfettamente separati, ognuno dei quali contiene un numero di pallini del tutto insufficienti a uccidere il selvatico (a 35 metri i due sciami saranno ad una distanza, l'uno dall'altro, di circa 1,5 metri!).

Controllo della rosata

Esporrò qui il metodo ufficiale seguito in Germania per controllare la regolarità della rosata e che consente un'ottima valutazione di canne per caccia e cartucce. Per i fucili da tiro viene usato un diverso bersaglio.

Bersaglio per prova della rosata

Il bersaglio di controllo è un cerchio di 75 cm di diametro con un cerchio interno di 37,5 cm La corona circolare è divisa in dodici settori e il cerchio interno è diviso in quattro settori; ogni settore ha la superficie di 276, 125 cm^2. Questa misura è stata scelta in modo che due settori adiacenti (552 cm^2) corrispondano alla superficie massima di una lepre, mentre una pernice corrisponde ad 1/3 di un settore (92 cm^2) e un fagiano e un anatra a 2/3 (184 cm^2). La prova viene effettuata sparando una serie di 5 cartucce eguali dalla distanza di 35 metri. Se una delle 5 rosata diverge dalle altre per più del 25% di impatti, occorre sparare altre cinque cartucce e la rosata anomala va scartata in quanto attribuibile ad anomalia della cartuccia.

Per ogni rosata si passa poi a valutare la copertura di ogni settore (due settori per la lepre) che sarà considerata sufficiente se, tenuto conto del diametro del pallino richiesto per l'animale in considerazione, si contano almeno:

- almeno 12 pallini da 2,5 mm in un settore e cioè almeno 4 pallini per la superficie di una pernice (1/3 di settore);
- almeno 6 pallini da 3 mm in un settore e cioè almeno 4 pallini per la superficie di un fagiano (2/3 di settore);
- almeno 6 pallini da 3,5 mm in due settori contigui, corrispondenti alla superficie di una lepre. In questo caso bisognerà sommare via via a+b, b+c, c+d, d+a, e+f,f+g … fino a q+e. Nella figura è insufficiente solo il settore g+h e si hanno 89 pallini sul bersaglio con 15 settori coperti a sufficienza.

La rosata sarà tanto migliore quanto maggiore è il numero dei settori coperti e quanto maggiore è il numero di pallini complessivo. In presenza di un buon numero complessivo di pallini sul bersaglio, ma concentrati piuttosto sui settori centrali, non si deve concludere che l'arma spara male, ma solo che è più adatta per tiri lunghi; è perciò consigliabile di ripetere la prova a 40 metri di distanza.

Relazione tra selvatico e pallino

La balistica terminale della carica di pallini differisce fondamentalmente da quella del proiettile singolo. Questo deve trasferire la sua energia al corpo e quindi è costruito in modo da defor-

marsi e frantumarsi e da provocare distruzione meccanica dei tessuti, oltre a onde d'urto distruttive.

Diverso il comportamento della carica di pallini che è già frantumata e quindi scarica immediatamente e completamente tutta la sua energia su di una superficie molto maggiore. Si consideri che già alla bocca la carica di un calibro dodici ha una superficie di 2,5 cm^2, il che è otto volte quella di una palla calibro 8 mm. A cinque metri la superficie di impatto sarà 20-30 volte superiore (6-10 cm di diametro) con una energia di oltre 200 kgm (circa 2000 Joule) il che spiega l'effetto fulminante della carica a pallini a breve distanza, anche su animali di grossa taglia.

La carica di pallini conserva una energia sovrabbondante anche a distanze sui venti metri a cui, ad esempio, una lepre di 3 o 4 kg può essere colpita da un numero di pallini sufficienti a dare circa 30 kgm di energia, vale a dire quanto un buon calibro 38.

Il meccanismo dell'energia non è sufficiente a spiegare il motivo per cui il selvatico viene ucciso anche a distanza doppia sebbene colpito da un numero ridotto di pallini che talvolta penetrano di poco sotto la cute.

Il vero meccanismo è stato scoperto facendo esperimenti scientifici su animali: si è così visto che lo stesso animale che rimaneva fulminato da una scarica di pallini che appena bucavano la pelle, quasi non riportava danni se veniva colpito mentre era narcotizzato. Si è perciò concluso che la morte non deriva direttamente dalle ferite, di per sé lievi, ma dallo shock nervoso cagionato dal fatto che più pallini colpiscono contemporaneamente più terminazioni nervose sparse sul corpo. In medicina legale questo fenomeno è conosciuto come "morte per inibizione riflessa" che talvolta può verificarsi anche per una sollecitazione improvvisa di una singola piccola ridotta regione del corpo (gli atemi delle arti marziali o la morte improvvisa di chi si butta in acqua).

Per uccidere il selvatico è perciò necessario che venga colpito da un sufficiente numero di pallini che scatenino questo riflesso e paralizzino il cuore. Sotto questo aspetto può essere più letale una carica di pallini piccoli che una di pallini grossi, sempre che i pallini piccoli abbiano energia sufficiente a produrre ferite sotto cute.

Ovviamente un numero di pallini minore che penetrino in profondità entro il selvatico sono idonei ad ucciderlo, se colpiscono

punti vitali o provocano emorragia, o ad immobilizzarlo se spezzano arti.

Nello scegliere il pallino si deve perciò cercare di ottenere entrambi i risultati con un pallino che assicuri sia una certa penetrazione sia un numero sufficiente di impatti, secondo il criterio sopra visto per la valutazione della rosata. Non si deve cercare di affidarsi solo alla penetrazione, ad esempio usando pallini molto grossi, perché diventa elevato il rischio che il selvatico passi tra i pallini indenne, oppure che venga ferito da uno solo e vada a morire altrove. Si deve poi tenere presente che l'effetto nervoso viene prodotto solo se i singoli pallini hanno una energia sufficiente a provocarlo. Ad esempio per una pernice si calcola che ogni pallino debba avere all'impatto una energia di almeno 0,11 - 0, 15 kgm Questo non significa ovviamente che si possa sparare alla distanza di 100 metri se il calcolo teorico ci dice che un certo pallino possiede ancora l'energia richiesta a tale distanza! Rimane infatti ferma l'esigenza che il selvatico venga colpito da un numero sufficiente di pallini. Il cacciatore che spara ad un selvatico con pallini più piccoli di quelli teoricamente più adatti, deve ricordarsi che deve ridurre la distanza di tiro; se spara con pallini più grossi corre il rischio di fracassare l'animale, se troppo vicino, o di mancarlo se si trova oltre la distanza di copertura ottimale della rosata.

Infinite sono le formule studiate per individuare il potere di arresto necessario per uccidere in selvatico, ma nessuna riesce ad andare oltre quella che è l’esperienza tradizionale che indica per ogni tipo di selvatico il pallino più adatto; infatti si deve sempre partire dal presupposto che non si può fare il calcolo sull’energia di un singolo pallino, ma che occorre far sì che il selvatico sia colpito da almeno 3 o quattro pallini.

Questa tabella ci dà contemporaneamente indicazione sul pallino da usare e la conseguente distanza massima di impiego

Selvatico	Peso kg	Diam. pallino	Distanza m
Pernice	0,35	2,50	43
Anatra	0,85	3,00	45
Fagiano	1,25	3,25	46
Lepre	3,50	3,50	48
Volpe	6,50	3,75	49

In letteratura si trova talvolta cenno del fenomeno della "passata" che si verifica quando un selvatico in volo, trafitto da un singolo pallino, cade stecchito. Sono state escogitate varie teorie ma senza giungere a conclusioni definitive. È probabile che anche in questo caso insorga una specie di shock nervoso. Egualmente poco chiara è la ragione per cui, a seconda della carica delle cartuccia, talvolta l'uccello cada senza spargere una goccia di sangue, talvolta invece sanguini vistosamente dalla ferite.

Il "vantaggio"

Quando si spara ad un bersaglio in movimento non si deve mirare al centro di esso, ma un po' più in avanti, rispetto alla direzione del movimento, perché i pallini impiegano un certo tempo a raggiungere il bersaglio e in quel tempo il bersaglio si è spostato. Si consideri che sulla distanza di 35 metri i pallini viaggiano alla velocità media di 285 m/s e impiegano circa 0,12 secondi a percorrerla; se il selvatico vola a 20 m/s, in tale tempo avrà percorso 2,4 m; se esso passa trasversalmente di fronte a noi si dovrà sparare a detta distanza davanti alla sua testa.

La formula per calcolare questo spazio è data da

$$\frac{\text{Velocità del selvatico x distanza}}{\text{Velocità media pallini}}$$

La velocità media si ottiene sommando velocità iniziale a velocità finale dei pallini e dividendo per due.

In teoria si dovrebbe tenere conto anche dei tempi di reazione del cacciatore e del sistema meccanico dell'arma, ma questi vengono corretti dallo stesso cacciatore che al momento dello sparo non blocca l'arma ma continua a muoverla, assecondando il movimento del bersaglio.

Se il bersaglio si muove in diagonale rispetto al cacciatore, il calcolo diviene molto più difficile; se il selvatico viaggia con un angolo di 70° rispetto alla linea trasversale, il che equivale a dire che la sua direzione di moto è di 20° rispetto alla linea di mira (si trascura qui la precisione teorica), il valore dello scostamento si otterrà moltiplicando il precedente valore per cos70° oppure per sen20°.

Nella pratica si ottiene lo stesso risultato utile calcolando il vantaggio non in metri, ma in "lunghezze dell'animale"; se un fagiano che vola trasversalmente ci appare lungo 60 cm il vantaggio da dare sarà dato da 240/60 = 4 fagiani; se esso si allontana in diagonale sarà sufficiente mirare "4 fagiani in avanti" secondo la lunghezza che il fagiano ci presenta per effetto della prospettiva.

Lunghezza della canna

Con una canna di 70 cm si raggiunge già il massimo della velocità che si può imprimere ai pallini in una canna liscia. Ma questa velocità è di pochi metri al secondo superiore a quella che si ottiene, a parità di cartuccia, in una canna di 60 cm Si calcola che da 70 a 60 cm il calo di velocità sia solo di 1ms per ogni cm!

Il vantaggio di una canna lunga è di avere una linea di mira più lunga fra tacca di mira e mirino e quindi un a maggior precisione nel mirare. Un tempo si usavano canne lunghe per poter sparare da cavallo senza bruciare le orecchie all'animale!

Pallini di acciaio

Con decreto 17 ottobre 2007 il Mistero dell'Ambiente ha stabilito il divieto di usare pallini di piombo in certe zone, divieto che si applicherà per la stagione venatoria 2008/2009 nelle zone speciali di conservazione (ZSC) e nelle zone di protezione speciale (ZPS) e quindi sarà vietato cacciare con pallini di piombo in tali zone umide (zone di caccia marittime, paludi e acquitrini non bonificati, fiumi, canali, laghi, stagni, specchi d'acqua, risaie, ecc.).

Si deve ricorrere quindi a pallini a base di ferro a bassa durezza. Sono in commercio pallini al bismuto, pallini di zinco, pallini di tungsteno. Il tungsteno pesa molto più del piombo (19 g contro 11,4 g al centimetro cubo), e sarebbe ottimo dal punto di vista balistico, ma è troppo duro.

La Federal e la Kent-Gamebore hanno creato dei pallini di resina in cui viene inserita polvere di tungsteno in modo da riprodurre peso e qualità del piombo. Essi possono essere sparati da qualsiasi fucile senza problemi.

La Federal produce anche i Tungsten Iron Loads, che sono formati da resina, tungsteno e acciaio; pesano come il piombo, ma

sono durissimi e richiedono perciò fucili con prova speciale e contenitore di plastica. Simile gli Hevi Shot della Remington.

È probabile che l'evoluzione tecnica si orienti in questa direzione. Se il peso specifico del pallino è pari o superiore a quello dl piombo non ci sono problemi sul piano della traiettoria e della rosata. Se si usa l'acciaio il suo peso specifico è del 30% inferiore a quello del piombo; per mantenere, a parità di velocità iniziale, la stessa energia finale, occorre aumentare il diametro del pallino in modo che il suo peso rimanga più o meno lo stesso. Ad esempio il pallino di piombo da 3 mm pesa g. 0,16; lo stesso pallino di acciaio peserebbe solo 0,10 g ; per ottenere un pallino di acciaio dello stesso peso occorre un diametro di 3,4 mm. In pratica occorre scalare di due posizioni la scala di numerazione dei pallini; se si usavano pallini nr. 8 di piombo, ci vorranno pallini di acciaio del nr. 6 per ottenere gli stessi risultati.

IL TIRO SOTT'ACQUA

Molti si saranno chiesti se sia possibile ed utile sparare con un'arma da fuoco sott'acqua, ad esempio per difendersi da uno squalo o per pescare, oppure sparare da una barca ad un pesce che si vede nuotare non in superficie.

Questa domanda se l'era già posta, attorno al 1877, dopo la lettura di *Ventimila leghe sotto i mari*, il generale Uchatius che iniziò a compiere esperimenti.

Un fucile Werndl venne fissato sotto una zattera, in posizione orizzontale e ad una profondità di mezzo metro, diretto contro un bersaglio di tavole di legno.

I risultati delle prove furono i seguenti.

Il caricamento e lo sparo avvennero senza problema alcuno, anche dopo una trentina di colpi. Lo sparo risultava silenziato e appena percepibile ad una quarantina di metri. Lo sparo produceva bolle di gas che gorgogliavano sopra la bocca dell'arma.

Alla distanza di 1,5 metri la palla non lasciò alcun segno sul legno; a 1,25 metri lasciò un'impronta profonda 3-4 mm; ad un metro di distanza la tavola, di 2,5 cm di spessore, venne perforata.

Vennero compiuti altri esperimenti con un revolver d'ordinanza Gasser: ad 1 metro nessun segno sul legno; a 0,75 m una impronta profonda 4-6 mm, a 0,65 m il proiettile penetrò per tutta la sua lunghezza nel legno, a 0,5 m trapassò la tavola.

Venne compiuto un ulteriore esperimento con il fucile per stabilire se la colonna d'acqua nella canna influisse sulla velocità del proiettile; la canna venne quindi tappata in volata; i risultati non cambiarono minimamente.

Infine si sperimentò il tiro dalla riva, sparando con il fucile contro la tavola sott'acqua dalla distanza di 10 metri e facendo in modo da dover penetrare diversi spessori di acqua. Il proiettile non la-

sciò alcun segno dopo aver passato m. 1,20 di acqua, dopo 0,90 m lasciò un leggero segno, dopo 0,60 m lasciò un segno più profondo e solo con uno strato d'acqua ridotto a 0,30 m riuscì a perforare la tavola. Quindi risultati peggiori rispetto a quelli ottenuti sparando con il fucile immerso.

Si può perciò concludere che il tiro in acqua, a causa della sua densità che è circa 800 volte quella dell'aria è di portata ridottissima; non si ottiene un gran miglioramento con proiettili aerodinamici perché comunque essi, dopo un breve percorso, iniziano a ruotare e si mettono di traverso rispetto alla traiettoria.

È stata elaborata una formula il calcolo della penetrazione di palle sferiche nell'acqua (o nella gelatina balistica).

La formula è

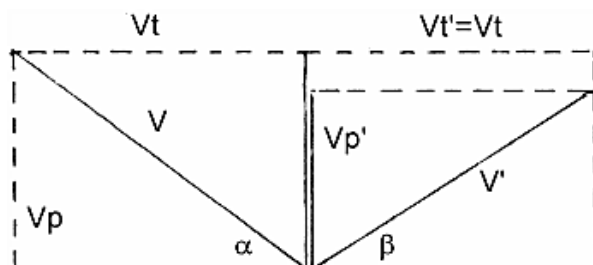
$$P = 1{,}65\frac{G}{S} \cdot ln\frac{V}{74}$$

in cui G è il peso della palla in g e S è la sezione in cm^2

L'introduzione del coefficiente di forma è importante solo per spessori limitati; dopo una diecina di cm intervengono i già visti fenomeni di rotazione del proiettile che rendono la sua capacità di penetrazione nuovamente simile a quella del proiettile sferico e perciò non viene indicato alcun coefficiente.

IL RIMBALZO DEI PROIETTILI

Il rimbalzo dei proiettili segue le normali leggi della fisica. Il proiettile raggiunge una superficie con l'angolo α ed una velocità che si scompone in due componenti, la prima perpendicolare alla superficie e la seconda (tangenziale) parallela alla superficie secondo le formule

$$v_p = v \cdot sen\alpha$$
$$v_t = v \cdot cos\alpha$$

Solo la componente verticale agisce sulla superficie e, correlativamente, sul proiettile; perciò con più l'angolo α è piccolo, minori sono questi effetti su superficie e proiettile. Dopo l'urto la componente tangenziale della velocità rimane inalterata (salvo modesta perdita per attrito sulla superficie) mentre la componente verticale si riduce a seconda della elasticità ε dell'urto. Se ε = 0 si ha un urto plastico con completa dispersione nell'energia all'impatto, senza rimbalzo alcuno. Se ε = 1 (biglia di acciaio su piastra di acciaio) la componente verticale della velocità rimane inalterata; se ε < 1 (palla camiciata, ad es.), la componente verticale della velocità assumerà il valore $V_{p'} = V_p \cdot \varepsilon$ e l'angolo di riflessione β sarà minore dell'angolo di incidenza. La velocità con cui il proiettile rimbalza sarà data dalla formula

$$V = v_i \frac{cos\alpha}{cos\beta}$$

Ciò significa che in caso di urto molto elastico il proiettile prosegue in una nuova direzione con una velocità prossima a quella di impatto; per effetto dell'urto esso sarà destabilizzato, roteerà vorticosamente con aumento del coefficiente aerodinamico, ma potrà avere pur sempre una gittata pari ad un terzo di quella che avrebbe normalmente.

Gli angoli α e β vanno misurati sperimentalmente. In alcuni casi si risconta che l'angolo β è maggiore dell'angolo α; ovviamente non vengono violate le leggi della fisica, ma accade che il proiettile provochi e percorra nel materiale una breve scanalatura o deformazione che devia il proiettile con un angolo maggiore di quello di impatto. La velocità però non sarà più calcolabile con la formula ora vista.

Con l'aumento dell'angolo α aumenta la componente della velocità d'impatto e la relativa energia con maggior deformazione del proiettile. Per ogni combinazione di proiettile-superficie vi è un angolo α a cui il proiettile o penetra oppure si frammenta, così che rimbalzano sono i frammenti. In alcuni casi può accadere che il proiettile provochi nella superficie un foro più grande del suo calibro, venendo poi però rimbalzato senza passare dall'altra parte (fenomeno frequente su lastre di vetro, ma possibile anche su lastre di metallo, così che poi gli investigatori cercano il proiettile dal lato sbagliato!).

Sia ben chiaro che il valore ε non è fisso per ogni materiale perché dipende dal tipo di proiettile e varia a seconda dello spessore e del montaggio del materiale del bersaglio.

Esperimenti pratici eseguiti su lastre di vari metalli hanno mostrato che si ha rimbalzo fino ad angoli α pari a 40-50° e con un angolo β al di sotto dei 10°.

Con proiettili cal. 22 lr il valore di ε è pari a 0,11 per lastre di acciaio di 1,6 mm e a 0,03 per lastre di 3,2 mm. Con proiettili cal. 45 i valori sono rispettivamente 0,29 e 0,078.

Sparando con il cal. 7,65 mm si riscontra che i proiettili iniziano a penetrare con un angolo di 17-22°. Con meno di 17° si ha il fe-

nomeno per cui l'angolo di impatto è minore dell'angolo di rimbalzo. Oltre 35° si ha frammentazione del proiettile.

Il legno ha un comportamento diverso dal metallo e paragonabile a quello dell'acqua; il proiettile non rimbalza come su di una superficie dura, ma penetra nel legno, vi provoca una scanalatura e viene deviato verso l'alto per lo stesso fenomeno per cui un raggio di luce viene deviato passando dall'aria all'acqua (ma intervengono anche fenomeni idrodinamici). La conseguenza è che quanto maggiore è l'angolo α, tanto maggiore diventa l'angolo β, fino a che non si raggiunge l'angolo di impatto (angolo critico) che consente la penetrazione del proiettile. Questo per proiettili sparati su tavole di legno; se si spara nel legno "di punta", cioè su di una sezione orizzontale del tronco, il legno può comportarsi in modo estremamente elastico.

L'angolo critico per proiettili di pistola nel legno di abete è da 10° (9 mm. para) a 15° (cal. 22 e cal. 7,65); per proiettili di fucile è di circa 5°.

L'angolo critico per il vetro è attorno ai 40°, ma si possono avere rimbalzi anche con impatti di 60 °. Sul cemento si hanno valori di 30-40° gradi, molto variabili a seconda del tipo di cemento e di proiettile.

I proiettili rimbalzano anche sulla sabbia con un angolo critico di circa 10° (circa 20° per gli slug).

Sull'acqua l'angolo critico è di circa 5-7°; l'angolo β è di poco inferiore e, talvolta, superiore.

Difficili da prevedere e da calcolare sono i rimbalzi e le deviazioni contro superfici curve (ad esempio tronchi o rami).

Secondo esperimenti dello FBI uno sparatore in piedi che spara a 23 metri (25 yarde) sul terreno coperto di asfalto o cemento (angolo 3,5°), con la pistola, può colpire alle gambe o al basso ventre una persona che si trovi a 50 yd; sull'erba oppure con palla slug lo può colpire al petto.

Rimbalzi sul terreno di caccia

Per il tiro a palla le norme di sicurezza elaborate per i cacciatori del mondo germanico, con esperienze molte più vaste di quelle italiche si prevede un angolo minimo di sicurezza di 10 gradi, segna-

lando però che il pericolo è rilevante fino ad un angolo di 30° e molto modesto con un angolo di 45 gradi.
È chiaro che queste regole di prudenza valgono ancor più in quanto sulla linea di tiro vi siano ostacoli che possono provocare rimbalzi. Ma lo stesso bersaglio può essere origine di un rimbalzo (corna, ossa del cranio).
È opinione diffusa fra i cacciatori, ottimi e attenti ascoltatori di conversazioni al bar e nei campi di tiro, che il tiro con palla singola (slug) in fucili a canna liscia presenti molti più pericoli del tiro con armi a canna rigata. Opinione tanto diffusa ed accettata acriticamente da aver influito su alcune normative regionali.
È una opinione priva di fondamento e che non trova riscontro in esperimenti.
Il problema va scisso nei suoi vari aspetti:
- Possibilità di errore di mira del tiratore
- Diversa gittata massima
- Diversa tipologia di armi
- Pericolo da rimbalzi

Possibilità di errore di mira del tiratore

Il tiro con il fucile a canna liscia, non vincolato alla precisa osservazione di una tacca si mira, è più istintivo e, se non si è fra quegli sciocchi che per mirare chiudono un occhio, si mantiene una totale visione della situazione attorno al bersaglio in movimento. Perciò, se una differenza vi è, essa è a favore della canna liscia.

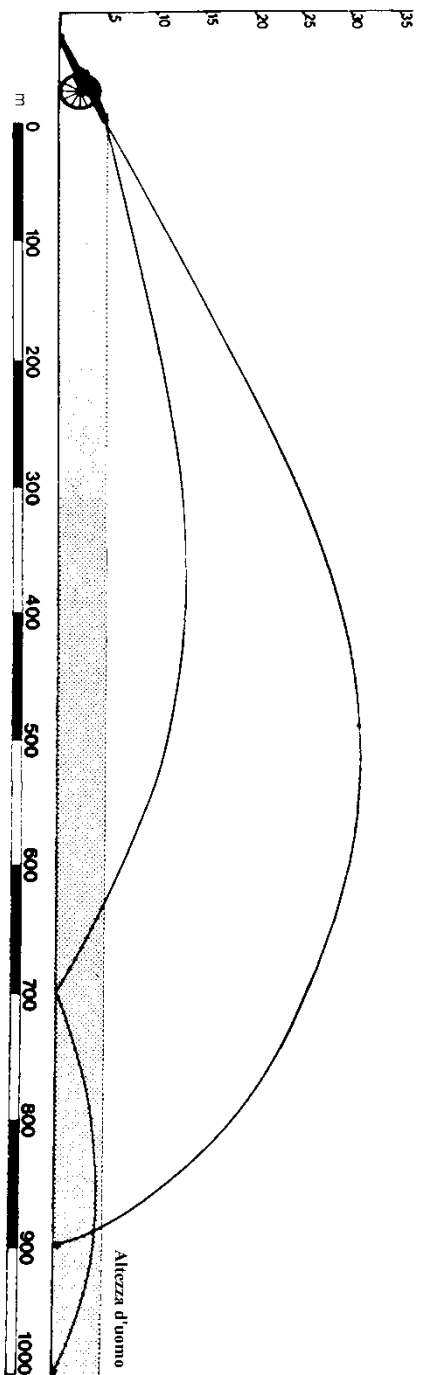
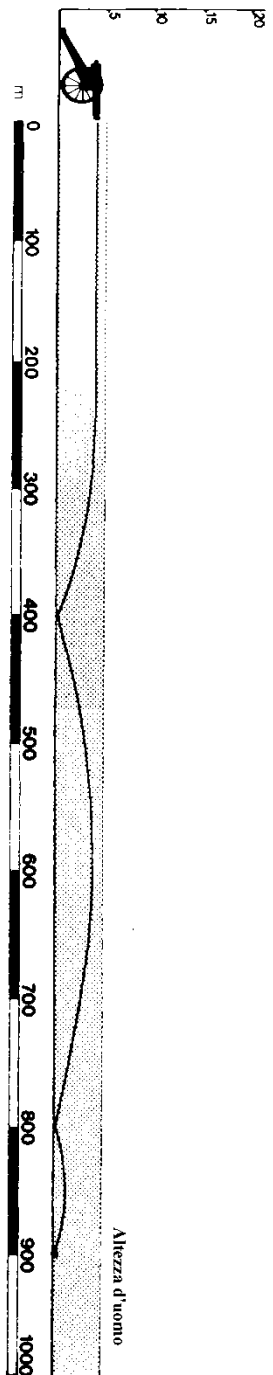
Diversa gittata massima

Il pericolo derivante da proiettili vaganti è sopravvalutato perché la probabilità di essere colpiti è estremamente bassa e in vita mia ho sentito di due casi verificatisi in Italia. Comunque una palla slug può arrivare ed uccidere a circa un chilometro, una palla di fucile a canna rigata può superare i tre chilometri. La traiettoria della palla slug, più lenta, deve essere molto più arcuata per raggiungere la massima gittata (circa 40° contro i 32°di una carabina) e sono rari in cui un cacciatore spara verso l'alto con un simile angolo.
Anche sotto questo profilo la palla slug è molto meno pericolosa.

Diversa tipologia di armi

Entrambi i tipi di armi possono essere ad uno o più colpi, a ripetizione manuale oppure a ripetizione semiautomatica; perciò non si

possono ravvisare grandi differenze nel comportamento dei tiratori. Si può solo rilevare che certe carabine semiautomatiche di calibro ridotto invitano il cacciatore a premere rapidamente il grilletto per sparare, con la massima velocità consentita, più colpi contro l'animale; è una cosa stupida, ma viene fatta, e ovviamente triplica il pericolo di colpi fuori bersaglio! Ciò è molto meno probabile in un calibro 12, non foss'altro che per il rinculo.
Gli esperti ritengono perciò che non vi sia differenza di pericolosità fra fucili a canna liscia e fucili a canna rigata e che, semmai, la palla di carabina sia più pericolosa della palla slug. È risultato anche che non vi è differenza di pericolosità a seconda della struttura e tipologia del proiettile usato (esperimenti condotti nel 2010-2011 dalla DEVA tedesca - Deutsche Versuchs- und Pruf-Anstalt für Jagd- und Sportwaffen - ente pubblico, per lo studio e la prova delle armi da caccia e sportive).

Distanza di sicurezza per il tiro con pallini
Il criterio è più o meno lo stesso; non si dovrebbe sparare nella direzione in cui si trova una persona loro sotto un angolo minore di 10 gradi; ciò significa che a 40 metri di distanza la persona deve trovarsi almeno a 7 metri a lato rispetto al selvatico mirato; se si usa un dispersore la distanza si raddoppi a e quindi bisogna che sia di 14 metri (o 20°).

Traiettorie di un proiettile d'artiglieria da 9 libbre con tiro diretto ad altezza d'uomo per sfruttare il rimbalzo
e con tiro arcuato con o senza rimbalzo

ELEMENTI PERTURBATORI DELLA TRAIETTORIA

Nel redigere il presente lavoro ci siamo proposti di avviare il lettore al calcolo balistico, presupponendo una certa conoscenza dei relativi fenomeni e tralasciando quei fenomeni che sfuggono al controllo dello sperimentatore o che sono di trascurabile entità. Non ci addentreremo, in particolare, nel cosiddetto "secondo problema balistico" che studia la "derivazione", ossia la deviazione laterale del proiettile dovuta alla sua rotazione; trascureremo anche l'effetto della rotazione terrestre sulla traiettoria, in quanto assume rilevanza soltanto nell'impiego delle artiglierie (effetti Coriolis, Magnus, Poisson, Eötvös). Esporremo quindi qui di seguito alcuni fenomeni secondari che si prestano ad essere valutati secondo un certo modello matematico.

Errore di partenza

Nei calcoli eseguiti finora abbiamo sempre supposto che l'angolo di proiezione coincidesse con l'angolo di tiro, che cioè la posizione della bocca dell'arma e il prolungamento del suo asse non si spostassero durante lo sparo.

In effetti i due angoli non coincidono mai, ma divergono di un piccolo angolo detto angolo "di rilevamento". Quindi l'angolo di proiezione φ sarà eguale all'angolo di tiro, più o meno un certo angolo ρ.

L'angolo di rilevamento di cui si tiene conto solitamente è quello cadente nel piano verticale, ma al momento dello sparo si verificano anche spostamenti nel piano orizzontale.

Tutti questi spostamenti sono dovuti alle sollecitazioni meccaniche che l'intera arma subisce durante lo sparo e più precisamente

durante la prima fase del rinculo, ovvero quella che si verifica mentre il proiettile percorre la canna.

La pressione assiale contro il piano di culatta, quella contro la spalla del bossolo, la forza scambiata tra proiettile e canna e, infine, le vibrazioni che l'accompagnano, provocano un movimento istantaneo tipo "colpo di frusta".

È da rilevare che la prima fase del rinculo è caratterizzata dalle massime pressioni all'interno dell'arma e dalle massime deformazioni elastiche del materiale.

Si verificano, quindi, le massime accelerazioni, alle quali però, corrispondono spostamenti relativamente piccoli. In realtà l'effetto di rinculo che ognuno può macroscopicamente osservare si verifica dopo che il proiettile ha abbandonato l'arma, cioè quando essa "restituisce" al tiratore l'energia immagazzinata. Nella prima fase del rinculo l'arma non ruota attorno al punto di appoggio (la spalla del tiratore, nel caso del fucile) ma attorno al suo baricentro.

Ai fini balistici, l'effetto pratico è una variazione, negativa o positiva, dell'angolo di tiro. Questa variazione è strettamente dipendente dal tipo di arma, dal sistema di costruzione delle canne, dalla loro forma, dal materiale usato, dal sistema di incassatura, dalla carica impiegata e da fattori contingenti (ad esempio un diverso stato di umidità dell'aria può indurre movimenti nel legno dell'incassatura che viene a poggiare diversamente contro la canna ed a modificarne le vibrazioni).

In linea di massima, l'angolo di rilevamento è negativo in alcune artiglierie, ma è sempre positivo nelle armi portatili.

Nelle armi di grosso calibro può raggiungere il valore di un grado, mentre nei fucili è dell'ordine di alcuni minuti di grado. In caso di traiettorie brevi e tese l'angolo di rilevamento può quindi superare di più volte l'angolo di tiro. Così, ad esempio, in un fucile semiautomatico cal.7,9 mm. (Vo = 755 m/s) puntato sui 100 m. , l'angolo di tiro è di 3' e l'angolo di rilevamento è pari a 12'.

Può così verificarsi in casi particolari il fenomeno apparentemente strano secondo cui, diminuendo la velocità del proiettile, questo colpisce più in alto e non più in basso, come ci sarebbe da attendersi. Ciò deriva dal fatto che varia il tempo di percorrenza della canna e quindi il proiettile più lento la abbandona nel mo-

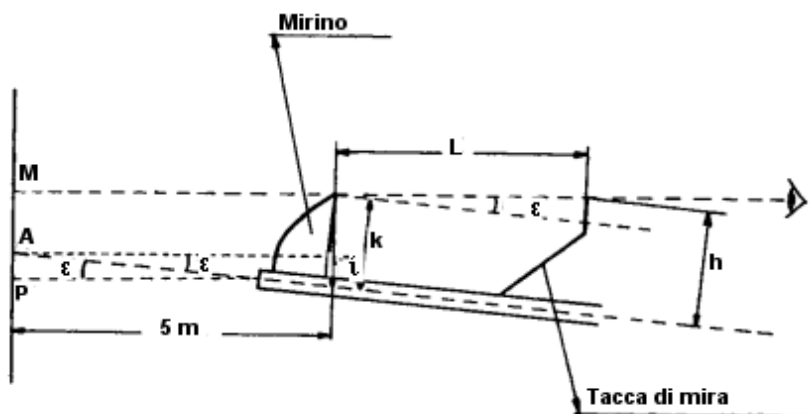
mento in cui la sua rotazione (impennamento) ha acquistato una maggiore ampiezza.

Questo fenomeno può comportare notevoli variazioni nella precisione tra un'arma azzerata al banco e la stessa arma impiegata dalla spalla oppure con canna appoggiata malamente a supporti che ne modificano le vibrazioni.

Il cacciatore o il tiratore, comunque, non devono preoccuparsi dell'angolo di rilevamento poiché di esso si è tenuto conto nell'azzerare l'arma.

Se invece si debbono eseguire calcoli con armi di altro tipo o per lunghe gittate, trascurare il rilevamento, può comportare un errore significativo.

La misura dell'angolo di rilevamento non è molto semplice in quanto occorrerebbe, con arma fissata al banco, stabilire su di un bersaglio posto ad alcuni metri, il punto esatto in cui il prolungamento dell'asse della canna incontra il bersaglio e poi, sparando un colpo, osservare quanto questo dista, in altezza, dal punto precedente. La difficoltà di stabilire il punto in cui l'asse della canna incontra il bersaglio, può essere aggirata ricorrendo al calcolo.

Il procedimento da seguire è il seguente (NB: nella figura il mirino e la tacca di mira sono disegnati molto vicini!):

Mirando con la tacca di mira e il mirino si spari contro un bersaglio verticale posto ad esempio a 5 metri; il centro del foro prodotto dal proiettile sia P; si misuri accuratamente la distanza k della sommità del mirino dall'asse della canna e l'analoga distanza h

della tacca di mira nonché la distanza L tra i due punti di mira e sia, ad esempio: h = 27,5 mm, k = 25 mm, l= 600 mm

Il valore dell'angolo e sarà dato da

$$tang\varepsilon = \frac{h-k}{L} = \frac{2,5}{600} = 0,0041$$

Da cui ε = 0° 14' 19"

Il valore di "i", a sua volta, sarà dato da

i = tang ε * 5000 = 20,8 mm

MA = (k - i) = 4,2 mm

La distanza cercata tra i punti A e P è quindi di 4,2 mm e perciò l'angolo di rilevamento sarà dato da

tang ρ = 4,2/5000; ρ = 0° 2' 53"

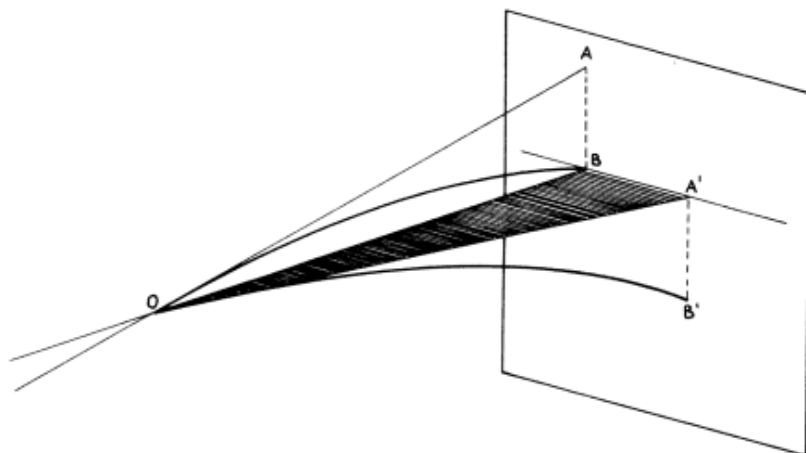
Si ricorda che per correggere il tiro bisogna operare sul mirino oppure sulla tacca di mira; se il proiettile finisce a destra del centro del bersaglio occorre o spostare il mirino verso destra oppure spostare la tacca di mira verso sinistra (e, se necessario, combinare i due spostamenti).

La torsione dell'arma

La torsione di un'arma, la sua inclinazione cioè verso un lato o l'altro, così che la linea di mira non si trovi nello stesso piano verticale dell'asse della canna, è causa di un errore di tiro.

Per comprendere il fenomeno si esamini la figura in cui è rappresentato il caso limite dell'arma adagiata su di un fianco, con uno spostamento di 90° rispetto alla posizione normale (si pensi ad una pistola appoggiata su di un tavolo, invece che impugnata).

La linea di mira è calcolata in modo da compensare la caduta del proiettile alla distanza di azzeramento e quindi l'arma, in posizione normale e mirando il bersaglio B, spara in effetti in direzione di A; se l'arma viene adagiata sul fianco destro, la canna verrà a trovarsi diretta verso A’ con uno spostamento verso destra AB=BA'.

Nel procedere verso il punto A' il proiettile subirà l'influenza della attrazione terrestre e, in definitiva, colpirà il punto B' in cui AB=A'B'.

Si può quindi concludere che la torsione dell'arma verso destra o verso sinistra comporta uno spostamento del proiettile dal medesimo lato della torsione nonché uno spostamento verso il basso, e che la torsione comporta una diminuzione della gittata in funzione diretta dell'angolo di torsione.

Sulla base di considerazioni abbastanza semplici si dimostra che quanto più la traiettoria è tesa, tanto minore è l'errore cagionato dalla torsione per cui, posto quale indice della radenza di una traiettoria

$$R = \frac{X}{y_v}$$

lo spostamento laterale del proiettile, per angoli di torsione non troppo grandi, sarà dato da

$$BA' = \frac{2Xsen2y}{R}$$

e lo spostamento verticale da

$$A'B' = \frac{4X(cosy - 1)}{R}$$

in cui *y* indica l'angolo di torsione.

Esempio:

Sia da calcolarsi l'influenza della torsione di un fucile pari a 15°, in relazione al proiettile già esaminato 7x64 e sia quindi Vo = 850 m/s; X = 300 m; T = 0,411" ; yv = 0,17 m; R = 1764

$$BA' = \frac{2 \cdot 300 \cdot sen(2 \cdot 15°)}{1764} = 0{,}17\ m$$

$$A'B' = \frac{4 \cdot 300(cos\ 15° - 1)}{1764} = -0{,}023\ m$$

Lo spostamento in altezza può quindi ritenersi trascurabile, mentre lo spostamento laterale è indubbiamente rilevante.

Nella pratica venatoria è normale che l'arma subisca una torsione di alcuni gradi senza che il cacciatore possa accorgersene, ma fino a 5 gradi l'errore è trascurabile (nell'esempio, uno spostamento di circa 5 cm). Sparando da posizioni anormali può accadere facilmente che la torsione sia maggiore e quindi tale da influenzare l'esito del tiro. È appena il caso di dire che in gare di tiro una torsione anche modesta, può compromettere seriamente il risultato.

L'accorciamento della traiettoria per effetto della torsione è dato dalla formula

$$X(cosy - 1)$$

E la diminuzione del tempo di volo dalla formula

$$T(cosy - 1)$$

Ad esempio nel caso appena visto si avrebbe

Diminuzione di X = 300 (cos15°-1) = - 10,2 m

Diminuzione di T = 0,41 (cos 15° - 1) = - 0,014"

Vediamo comunque di semplificare ulteriormente le cose, visto che non sono rilevanti i millimetri.

In linea generale vale la regola che

torsione a sinistra = colpo basso a sinistra
torsione a destra = colpo basso a destra

In via semplificata, posto F quale spazio di caduta del proiettile nel tempo di volo sino al bersaglio si avrà

$$BA' = F\ sen\ y$$
$$A'B' = F\ cos\ y$$

Il calcolo dimostra che nel tiro venatorio fino a 100 metri la torsione fino a 5° (che è quella che può ancora sfuggire al cacciatore non attento) è trascurabile. L'errore per la torsione aumenta con più l'arma è azzerata per lunghe distanze. Nei calcoli fatti si è sempre considerato che l'arma fosse azzerata sul bersaglio. Un proiettile lento subisce la torsione più di uno veloce.

La seguente tabella contiene alcuni esempi pratici.

Palla	Angolo	100 m		200 m		300 m	
		BA'	A'B'	BA'	A'B'	BA'	A'B'
6,5x54 M. Sch. 10,3 g Vo=670 m/s DOA 140 m	1°	0,2	0	1	0	1,7	0
	5°	1,1	0	5	0,2	13,1	0,6
	10°	2,2	0,2	10	0,9	26	2,3
7 **x 64** 10,5 g Vo=880 m/s DOA 175 m	1°	0,1	0	0,6	0	1,5	0
	5°	0,6	0	2,8	0,1	7,3	0,3
	10°	1,3	0,1	5,7	0,5	14,5	1,3
7 Rem. Mag 9,4 g Vo=1005 m/s DOA 210 m	1°	0,1	0	0,4	0	1,0	0
	5°	0,5	0	2,1	0,1	5,2	0,2
	10°	0,9	0,1	4,2	0,4	10,3	0,9

Il vento

Il proiettile in volo è soggetto ad essere spostato lateralmente per effetto di un vento che spiri normalmente alla traiettoria; invece l'influenza del vento che spira nella stessa direzione del proiettile, o nella direzione contraria, può essere trascurata per le normali distanze di impiego delle armi leggere.

Il calcolo degli effetti del vento non è affatto facile, sia perché per il normale tiratore non è agevole calcolare ad occhio la velocità, sia perché il vento non è costante, ma soffia a raffiche, sia, infine, perché la sua velocità varia con il variare della distanza dal suolo.

Ci limiteremo quindi all'esame dell'ipotesi semplificata in cui la velocità del vento sia nota ad esso spiri perpendicolarmente alla direzione del proiettile.

Lo spostamento che il proiettile subisce per effetto del vento sarà proporzionale al cd. *ritardo* del proiettile, vale a dire, al maggior tempo di percorrenza della traiettoria rispetto al tempo teorico riferito alla traiettoria nel vuoto.

Indicato quindi con T_v il tempo di volo nel vuoto, la deviazione D sarà pari a

$$D = (T - T_v) \cdot w$$

in cui *w* indica la velocità del vento.
Siccome

$$T_v = \frac{X}{V_0 \cdot cos\varphi}$$

in cui φ è l'angolo di proiezione
si potrà anche scrivere

$$D = w \cdot (T - \frac{X}{V_0 \cdot cos\varphi})$$

(formula di Didion)
Se invece del tempo di volo, si considera il rapporto X/T, gittata/tempo, e cioè la velocità media del proiettile per il percorso dato si potrà anche scrivere

$$D = w \cdot T(1 - \frac{vel.med}{V_0 \cdot cos\varphi}$$

Esempio:
Sia il già visto proiettile 7 x 64 e si voglia sapere quale spostamento laterale esso subisce alla distanza di 300 metri sotto l'influenza di un vento di 10 m/s
Sia quindi X= 300 m. V = 850 m/s T= 0,411 s
Il valore dell'angolo φ può ricavarsi dalla formula

$$sen\ 2\varphi = \frac{X}{Xmax} = \frac{300}{\frac{850^2}{9{,}81}} = 0°\ 7'$$

Dalla prima formula si avrà

$$D = 10\left(0{,}411 - \frac{300}{850 \cdot cos0°7'}\right) = 0{,}58\ m$$

Dalla seconda formula, posto che la media fra V_0 = 850 m/s e V_{300}= 620 m/s, è pari a 730 m/s, si ha

$$D = 10 \cdot 0{,}411\left(1 - \frac{730}{850 \cdot cos0°7'}\right) = 0{,}58\ m$$

Ripetiamo l'esempio con un proiettile cal. 22 L.R. e sia V = 320 m/s, X= 100 m., T= 0,33 e w= 5 m/s. L'angolo φ sarà dato da

$$2sen\varphi = \frac{100}{\frac{320^2}{9{,}81}} = 0°16'28"$$

e perciò

$$D = 5 \cdot \left(0{,}33 - \frac{100}{320 \cdot cos0°16'28"}\right) = 0{,}087$$

oppure, posto V_{med} = 300 m/s

$$D = 5 \cdot 0{,}33\left(1 - \frac{300}{320 \cdot cos0°16'28"}\right) = 0{,}10\,m$$

La prima formula appare essere la più precisa rispetto alla seconda, per gli errori che possono sorgere nel calcolare la velocità media.
Analizzando i dati ottenibili si vede che non è vero quanto si legge in alcuni testi secondo cui, aumentando la velocità del proiettile, aumenta anche la deriva per effetto del vento; questa invece è ricollegabile a più fattori congiuntamente, quali: la densità sezionale (maggior densità = minore rallentamento); la forma del proiettile; la velocità nel tratto considerato (aumentando la velocità aumenta la resistenza dell'aria, ma proiettili viaggianti nell'ambito della velocità del suono subiscono un rallentamento abnorme, così che la differenza $T - T_v$ diminuisce al crescere della velocità da 0 a 320 m/s ma risale poi da 320 a 380 m/s circa, per poi decrescere nuovamente a velocità superiori).
Se il vento non è perpendicolare alla traiettoria, ma forma con essa un angolo minore α si assume che la deviazione D' sia pari a

$$D' = D \cdot cos2\alpha$$

Esempio: Se la direzione del vento forma un angolo di 20° con la traiettoria e lo spostamento calcolato per il vento perpendicolare è pari a 10 cm si avrà

$$D' = 10 \cdot cos40° = 7{,}6\,cm$$

Ove non sia possibile misurare con strumenti la velocità del vento, può essere utile la seguente tabella, in cui la velocità del vento viene valutata a seconda dei suoi effetti (Scala di Beaufort) :

Velocità m/s	**Effetti**
0 - 0,2	Quiete, il fumo sale diritto
0,3 - 1,5	La direzione del vento è mostrata solo dal fumo, ma non da bandiere e simili
1,6 - 3,5	Si sente il vento sul volto, le foglie stormiscono, le bandiere si muovono
3,5 - 5,5	Si muovono le foglie e piccoli ramoscelli
5,5 - 8	Il vento alza la polvere e pezzi di carta; muove ramoscelli e rami sottili
8 - 10,7	Si piegano piccoli alberelli
10,8 -13,8	Si muovono rami robusti, il vento fischia attraverso i fili della luce, diventa difficile usare l'ombrello
13,9 -17	Interi alberi in movimento, si sente un notevole impedimento nel camminare contro vento
17 - 20	II vento spezza rami e ostacola notevolmente il cammino
20 - 24	Piccoli danni ai tetti delle case
24 - 28	II vento sradica alberi e danneggia case

Ricordo che moltiplicando la velocità in m/s per 3,6 si ottiene la velocità in kmh (20 m/s = 72 kmh)

ACUSTICA DELLO SPARO

Onde di pressione dell'aria, causate ad esempio da un corpo in vibrazione, e comprese in un determinato spettro di frequenza, vengono percepite dall'orecchio come rumore. Ogni onda sonora è costituita da una compressione (semionda positiva) seguita dalla corrispondente rarefazione dell'aria (semionda negativa) e si diffonde attorno alla sorgente sonora con velocità costante, dipendente dalla natura del mezzo e dalla sua temperatura. Quale unità di misura dell'intensità dei suoni è stato adottato il decibel (dB). Per la legge fisica di Weber-Fechner l'intensità della sensazione auditiva cresce entro, certi limiti, in rapporto con il logaritmo a base 10 dell'aumento dell'intensità sonora, il che significa che per raddoppiare un dato livello sonoro occorre aumentare l'intensità energetica sonora di 100 volte (10^2), per triplicarlo di 1000 volte (10^3), e così via. Al fine di dare una idea concreta del significato di decibel, si tenga presente che un bisbiglio raggiunge i 30 dB, una conversazione normale i 60 dB, l'interno di una utilitaria a forte velocità i 90 dB e così via, fino al colpo di cannone o allo scoppio di una bomba, che superano i 200 dB.

Per i proiettili di arma leggera sono stati misurati i seguenti valori

Doppietta	cal. 12	ca. 140 dB
Gewehr G3	308 Winchester	ca. 161 dB
Pistola P38	9mm Luger	ca. 163 dB
Revolver	357 Magnum	ca. 176 dB

L'orecchio umano riesce a percepire pressioni di due decimillesimi di millibar (inizio della scala = 0 dB) fino a due centesimi di millibar (120 dB) che rappresenta la cosiddetta soglia del dolore,

oltre la quale i suoni vengono percepiti non come rumore, ma come sensazione dolorosa.

La sensibilità dell'orecchio varia a seconda della frequenza del suono con un massimo di sensibilità attorno ai 3-4000 Hz.

L'intensità del suono diminuisce via via che ci si allontana dalla sorgente sonora e, precisamente, essa varia, in teoria, in ragione inversa al quadrato della distanza; vale a dire che raddoppiando la distanza, l'intensità sonora diventa quattro volte minore.

Espresso in termini matematici ciò significa che se un suono di 130 dB a un metro dalla sorgente, è ridotto a 124 dB dopo due metri, alla distanza di 4 metri avrà una intensità pari ad 1/4 e cioè

$$10log\frac{14^{12,4}}{4} = 118\ dB$$

e dopo otto metri pari a

$$10log\frac{14^{11,8}}{4} = 112\ dB$$

In modo ancora più semplice si può anche dire che ad ogni raddoppio della distanza si ha una diminuzione di 6 dB.

Per calcolare la diminuzione di velocità su di una determina tratta, o dalla sorgente fino ad una data distanza, la formula da usare è

$$a' = a + 20log_{10}\left(\frac{x}{x'}\right)$$

in cui *a* è l'intensità al punto x e x' è la distanza finale desiderata.

Ad esempio supponiamo che alla distanza di 2 m dalla sorgente un suono abbia intensità di 130 dB e domandiamoci che intensità ha il medesimo suono alla distanza di 10 m dalla sorgente. Nel nostro caso è a= 130 dB, x = 2 m, x' = 10 m e dobbiamo trovare il valore di a'. Dalla formula si ha:

$$a' = 130 + 20log\left(\frac{2}{10}\right) = 130 - 13,9794 = 116,021\ dB$$

In pratica però oltre alla diminuzione di intensità dovuta al fatto che l'onda sonora, diffondendosi sfericamente, viene a diffondersi su di una superficie sempre più vasta, si deve tener conto che all'attenuazione contribuiscono le diverse condizioni dell'atmosfera attraversata. Non vi sono dati precisi sull'attenuazione dovuta alla pioggia, alla nebbia, alla neve cadente; in genere si ammette che

essa si aggiri attorno ai 15 dB per chilometro. Quando il suono si diffonde vicino al suolo vi è anche un assorbimento da parte della vegetazione che, su terreni con erba e cespugli si aggira attorno a 0,1 dB per metro. La diffusione del suono è solo raramente corrispondente a quella teorica ipotizzata perché essa è influenzata dalle differenze di temperatura tra gli strati d'aria e il terreno, nonché dal vento. Per effetto della temperatura, la velocità del suono varia nei diversi strati atmosferici e le onde sonore (esattamente nello stesso modo in cui un raggio di luce viene deviato passando dall'aria all'acqua) vengono deviate verso l'alto o verso il basso. Una zona d'ombra può quindi incontrarsi sovente sopra vento rispetto alla sorgente sonora, cioè dalla parte da cui spira il vento, poiché qui il grediente del vento è tale da deviare l'onda sonora verso l'alto. Una zona d'ombra può circondare completamente la sorgente sonora quando si è in presenza di aria a temperatura fortemente decrescente verso l'alto e la velocità del vento è bassa. Di notte può accadere il fenomeno di rumori che si sentono a grande distanza, proprio perché si forma uno strato di aria fredda vicino al suolo, così che i raggi vengono deviati in direzione del suolo invece di disperdersi verso l'alto. Viceversa, di giorno l'aria vicino al suolo si riscalda per effetto del sole e il suono viene deviato verso l'alto.

Per quanto concerne il vento, accade che la velocità di questo e quella del suono si sommino vettorialmente e, siccome la velocità del vento diminuisce con l'avvicinarsi al suolo, avviene che i suoni che seguono la stessa direzione del vento vengano deviati verso il suolo e quelli contro vento verso l'alto. Esperimenti compiuti con un fucile da caccia ed un vento di 2-3 m/s vicino al suolo, hanno consentito di misurare, alla distanza di mille metri, un suono di 62 dB contro vento e di 82 dB sottovento. A maggiori distanze e con forte vento si poterono misurare differenze fino a 40 dB.

Con riferimento a poligoni di tiro, senza particolari condizioni atmosferiche perturbatrici, si è riscontrato che a 1500 metri di distanza gli spari di fucile hanno una intensità di circa 60 dB e a 3000-4000 metri di circa 50 dB.

I rumori connessi allo sparo di un'arma derivano da tre fonti :

1) rumori prodotti dal meccanismo di sparo ed espulsione dell'arma

2) rumori prodotti dall'espansione dei gas di sparo dell'arma
3) rumori prodotti dal proiettile nell'aria e al momento dell'impatto.

1) Nelle armi a ripetizione ordinaria vi è solo il rumore dello scatto del grilletto e del percussore che colpisce l'innesco, nelle armi automatiche vi può essere il rumore della massa battente che percuote, retrocede e ricamera una cartuccia. Questi rumori sono quasi sempre mascherati dai rumori dello sparo vero e proprio ed assumono un certo rilievo solo nelle armi munite di silenziatore. Infatti la massa battente a vuoto di un mitra Sten produce un rumore di circa 100 dB, pari al rumore di un'arma ben silenziata.

2) Lo sparo vero e proprio è prodotto dalla rapida espansione dei gas che escono dalla bocca dell'arma con una velocità che può essere doppia di quella del proiettile e con una pressione di alcune centinaia di atmosfere, ed è lo stesso rumore, fatte le debite proporzioni, che produce lo stappamento di una bottiglia di spumante (pressione circa 5 atmosfere) o lo sparo di una carabina ad aria compressa.

Nel rumore dello sparo si possono distinguere tre componenti fondamentali:

a) l'onda precorritrice, causata dal fatto che il proiettile, viaggiando nella canna, accelera e comprime l'aria che vi si trova, così che il proiettile è preceduto da un'onda che raggiunge la pressione di parecchie atmosfere. Quest'onda può cumularsi con quella provocata da quei gas che, per difetto di aderenza tra canna e proiettile, riescono a superare ed a precedere il proiettile.

b) l'onda provocata dal repentino dislocamento della massa d'aria alla bocca dell'arma quando ne esce il proiettile; essa è normalmente trascurabile, ma assume importanza nelle armi silenziate, specialmente se il silenziatore è munito di diaframmi elastici;

e) l'onda provocata dall'uscita dei gas caldi dell'esplosione, costituente il rumore dominante delle armi non silenziate. La pressione di quest'onda dipende fondamentalmente dalla pressione dei gas e questa, a sua volta, dalla lunghezza della canna e dal tipo di polvere. Canne corte e polveri progressive hanno come conseguenza alte pressioni di bocca; il contrario avviene con canne lunghe o polveri vivaci.

Una canna corta in relazione alla velocità di combustione della polvere (e ciò avviene di regola con i revolver a canna corta e munizioni potenti) produce un notevole aumento dell'intensità dello sparo, pur non aumentando necessariamente la pressione dei gas, poiché può avvenire che dalla canna escano dei gas incombusti che combinandosi con l'ossigeno dell'aria esplodono fragorosamente (fuoco di bocca).

3) I rumori prodotti dal proiettile durante il suo volo sono ben tre.

- Il primo rumore è il sibilo, ben noti a tutti i cacciatori. Esso è riconducibile sia ai vortici che al risucchio d'aria dietro al proiettile, sia a quel fenomeno che in aerodinamica è conosciuto come "rumore dello strato limite": quando un corpo solido si muove ad alta velocità in un elemento gassoso la viscosità del gas provoca la comparsa di uno strato turbolento in prossimità della superficie del corpo stesso, dello spessore variabile da frazioni di millimetro ad alcuni centimetri, a seconda delle dimensioni del corpo, della sua rugosità superficiale, della densità del gas. In esso si generano così dei vortici che provocano variazioni di pressione e quindi onde sonore che possono raggiungere anche notevole intensità; il sibilo di un apparecchio a reazione raggiunge anche i 140 dB e quello di un proiettile di arma leggera produce un suono che a 10 metri dalla traiettoria arriva a 95 dB.

Questo rumore si propaga anch'esso, naturalmente, con la velocità del suono.

- Il secondo rumore, analogo al suono del proiettile che rimbalza dopo aver urtato contro un ostacolo, subentra in luogo del sibilo in determinate circostanze ed è quello ronzante e quasi musicale che produce il proiettile non sferico male stabilizzato.

Come è noto, la rigatura della canna imprime al proiettile un rapidissimo moto di rotazione, che può arrivare anche a 3000 giri al secondo per un moschetto, secondo la formula

$$G = \frac{V_0}{P}$$

in cui la velocità è espressa in m/s e P indica il passo della rigatura in metri, vale a dire il percorso nella canna durante il quale il proiettile compie un giro completo.

La stabilizzazione del proiettile non è mai perfetta ed il proiettile è soggetto a movimenti pendolari di precessione che lo portano a compiere un lento percorso a spirale attorno alla traiettoria ideale percorsa dal centro di gravità del proiettile. È sufficiente una causa anche minima per esaltare il movimento di precessione e far sì che la punta percorra delle spirali ravvicinate, con l'asse del proiettile che può giungere a disporsi perpendicolarmente alla traiettoria.

Le cause dell'aumento del movimento di precessione possono essere svariate, dal difetto della bocca dell'arma, all'urto contro rametti o foglie, all'attraversamento di un corpo liquido o solido.

Il proiettile così destabilizzato produce il tipico ronzio propagantesi (alla velocità del suono) attorno al proiettile.

- Il terzo suono, detto onda balistica, è quello prodotto da un proiettile che viaggia ad una velocità supersonica.

Come abbiamo detto il suono si diffonde nell'aria sotto forma di onde di pressione concentriche. Un proiettile, o un aereo, che nel suo volo deve vincere la resistenza degli strati d'aria, che quindi con il suo movimento preme in continuazione avanti a se, produce per l'appunto degli impulsi di pressione che si diffondono nell'aria con velocità relativa pari a quella del suono, ma che saranno anche soggetti ad essere trasportati dalla corrente d'aria in direzione opposta a quella del proiettile e con eguale velocità. Di conseguenza la velocità di propagazione risultante è più lenta nella direzione del proiettile, più veloce nella direzione opposta. Se la velocità del proiettile, e quindi della corrente di direzione opposta, eguaglia la velocità del suono, l'effetto dell'impulso non può raggiungere ogni punto dello spazio in quanto la velocità in avanti diventa eguale a zero, ma è confinata nel semispazio delimitato da un piano perpendicolare alla direzione del proiettile. Di conseguenza il suono non può essere udito a monte di tale spazio e cioè avanti al proiettile. Se la velocità del proiettile è superiore a quella del suono, l'effetto dell'impulso è confinato in uno spazio ancora minore e precisamente in un cono (cono di Mach) il cui vertice è il proiettile e il cui angolo di apertura diminuisce da 180° a valori via via minori con il crescere della velocità secondo la formula

$$sen2\alpha = \frac{Vel.suono}{Vel.proiettile}$$

Il cono di Mach separa la zona del silenzio, fuori di esso, dalla zona al suo interno in cui il rumore si concentra. Il rumore (cosiddetto bang) è percepito dal nostro orecchio solo quando questo viene investito dal fronte del cono; il rumore proprio di un corpo che vola nell'aria sopra di noi (motori di aereo, sibili del proiettile) e il rumore dell'onda balistica verranno uditi dall'orecchio quando esso si viene a trovare dentro lo spazio compreso nell'intersezione del cono con la superficie terrestre (cosiddetto corridoio del rumore, fig.1.) e dopo che il corpo è già passato sopra l'ascoltatore.

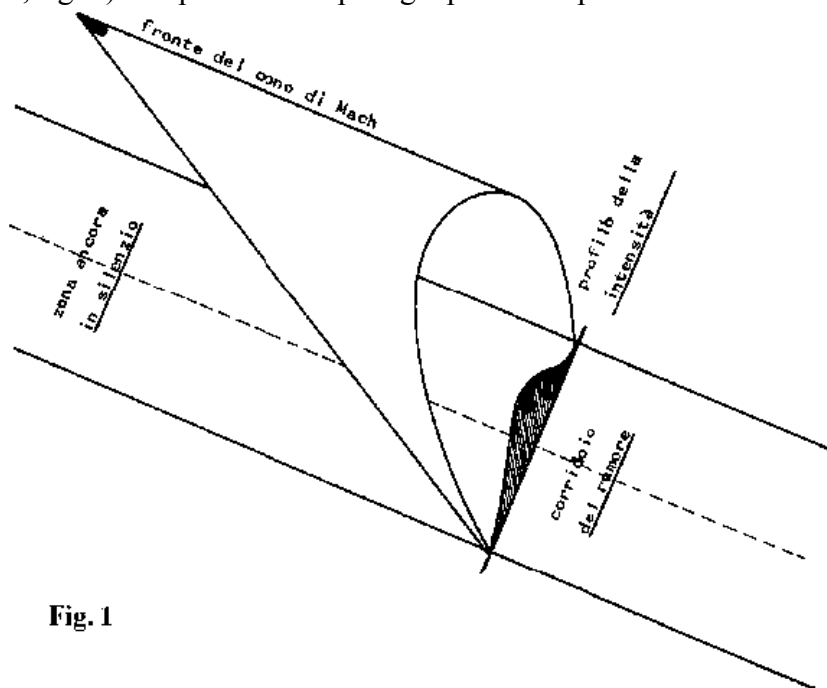



Fig. 1

Le conseguenze pratiche di quanto detto sono:

- il cono di Mach non si forma alla bocca dell'arma, ma circa 30-40 cm più avanti poiché alla bocca i gas hanno velocità superiore a quella del proiettile e quindi la velocità relativa del proiettile non è supersonica.

- il bang è indipendente dal rumore proprio del corpo che lo produce.

- il bang è un suono continuo che si propaga sul terreno, lungo la direzione del proiettile, con la velocità del proiettile stesso.

- chi si trova dietro all'arma che spara il proiettile supersonico non può sentire il bang come suono diretto, ma solo come suono

riflesso, sempre che non si sommi e confonda con il rumore della onda di bocca.

- quando il proiettile scende a velocità subsonica si ritornano ad udire i rumori propri del suo movimento (sibilo o ronzio).

- se viene silenziato il rumore dell'onda di bocca, non è più possibile localizzare la posizione dell'arma che ha sparato, perché per l'ascoltatore il rumore sembrerà provenire da un punto della traiettoria del proiettile; l'arma sarà localizzabile da chi si trovi dietro lo sparatore.

Il rumore dell'onda balistica è molto più schioccante di quello dell'onda di bocca e ciò è dovuto al fatto che mentre la frequenza dominante dell'onda di bocca è di circa 500 Herz quella dell'onda balistica è di circa 3000 Herz.

L'intensità dell'onda balistica è pressoché indipendente dal tipo di proiettile di arma leggera ed è pari a circa 136-140 dB (ecco il motivo per cui per le orecchie può essere più dannoso essere vicino al tiratore che non lo sparare).

Le nozioni teoriche sopra esposte possono essere utilizzate per risolvere problemi di criminologia.

Poiché, come è noto, l'orecchio umano riesce a percepire come distinti solo suoni separati da un intervallo di tempo di almeno 1/10 di secondo (si ricordi il fenomeno dell'eco), dal fatto di percepire o meno sia l'onda di bocca che l'onda balistica o il sibilo del proiettile, si possono talvolta trarre utili conclusioni sul tipo di arma e sulla distanza dalla quale il colpo è stato sparato.

A seconda della velocità iniziale del proiettile, ad esempio, i due suoni potranno incominciare ad essere uditi come separati alle seguenti distanze (valori molto approssimativi poiché non si è tenuto conto della diversa ritardazione a seconda del coefficiente balistico)

V_0	Distanza	V_0	Distanza
m/s	m.	400	320
230	70	500	150
250	90	600	100
280	115	700	70
300	180	1000	50
330	180		

Fino alla velocità di 330 m/s il suono del sibilo precederà quello dell'onda di bocca; oltre la velocità del suono il bang precederà l'onda di bocca. Per i proiettili a velocità supersonica accadrà anche che, ad un certo punto, la velocità diminuirà di tanto che l'onda di bocca, dopo essere stata inizialmente distaccata, raggiungerà e supererà il proiettile stesso, di modo che lungo il tragitto del proiettile vi saranno due zone in cui i suoni non si copriranno a vicenda.

Ad esempio per un proiettile cal. 22 magnum (Vo = 700 m/s) i suoni non saranno distinguibili separatamente fino a 70 metri dall'arma, come sopra indicato; da 70 a 500 metri circa si udrà prima l'onda balistica e poi l'onda di bocca; da 500 metri in poi si udrà prima l'onda di bocca e poi il sibilo del proiettile. Per un proiettile di fucile (Vo = 1000 m/s) le distanze diventerebbero invece 50 e 2800 metri rispettivamente.

Quanto esposto è valido nell'ipotesi che l'ascoltatore si venga a trovare a breve distanza dalla traiettoria del proiettile, di modo che sia trascurabile il tempo impiegato dal suono proprio del proiettile per raggiungere l'ascoltatore, come quando si debba distinguere il sibilo dall'onda di bocca. L'onda balistica, invece, può essere udita a grande distanza dalla traiettoria e quindi il tempo impiegato dal fronte del cono di Mach per raggiungere l'ascoltatore non può essere trascurato.

Per risolvere il problema matematico, si consideri la fig. 2. Sia O la bocca dell'arma, P il proiettile ed l'ascoltatore.

A udirà l'onda balistica quando il fronte AP raggiungerà il suo orecchio; in quel momento il proiettile si troverà già nel punto P, ma l'onda udita sarà stata generata nel punto B (e questa sembrerà essere la direzione di provenienza dello sparo). Conoscendo il punto B si potrà calcolare il tempo impiegato dal proiettile a percorrere il tratto OB ed il tempo impiegato dall'onda balistica a percorrere il tratto BA e quindi, sommando i due dati, il tempo complessivo.

Come si vede dalla figura il punto B è rappresentato dall'incontro con OP della perpendicolare in A alla linea AP e l'angolo α può essere calcolato con la formula già indicata.

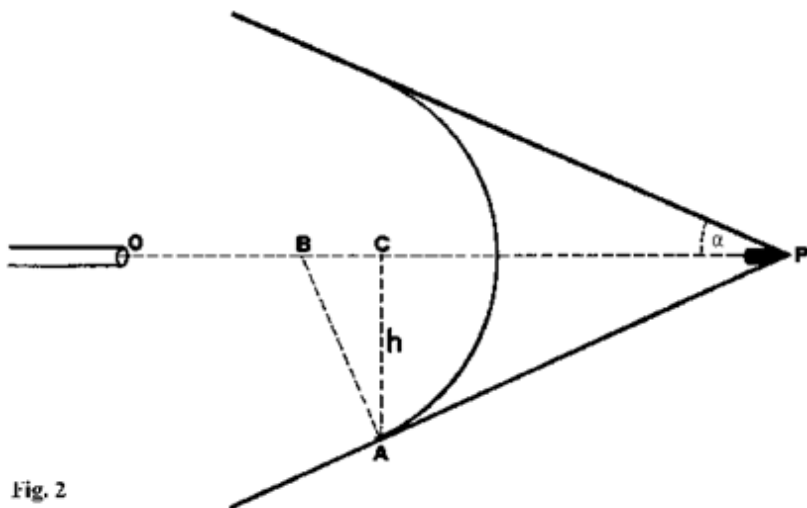



Fig. 2

Se la distanza *h* dell'ascoltatore aumenta oltre una certa misura, il punto B viene a coincidere con O e l'ascoltatore ode contemporaneamente onda di bocca ed onda balistica.

Quale applicazione pratica di queste nozioni riporterò due casi citati in riviste di criminologia (da Sellier).

In un primo caso viene sparato contro un contadino nei campi, da una distanza accertata di circa 100 metri con un fucile a palla di piccolo calibro e sia la vittima che i testimoni affermano di aver sentito fischiare il proiettile sopra le loro teste; si deve stabilire se è stata usata una cartuccia Flobert (Vo = 200 m/s) o 22 corto (V_0 = 280 m/s) o 22 L.R. (V_0 = 300 m/s). Orbene, sia per il calibro 22 corto che per il 22 lungo, alla distanza di 100 metri il sibilo e l'onda di bocca sono così prossimi che è impossibile distinguerli; si concluse quindi che era stata usata una cartuccia Flobert.

In un secondo caso un poliziotto aveva sparato con una pistola cal. 7,65 e da 40 metri di distanza, 5 colpi verso un uomo in fuga; il poliziotto affermava di aver sparato in alto verso le cime degli alberi; l'uomo affermava che il poliziotto gli aveva sparato addosso, in quanto aveva sentito fischiare e ronzare le pallottole. Orbene, il sibilo di un proiettile cal.7,65, con una velocità iniziale attorno ai 300 m/s può essere sentito solo oltre i 150 metri di distanza dall'arma. Se l'uomo aveva sentito qualche cosa, poteva aver sentito solo il ronzio di un proiettile deviato dai rami o dalle piante e ad una certa distanza da sé.

BALISTICA TERMINALE

Balistica terminale

La balistica terminale studia il comportamento del proiettile sul bersaglio. Qui ci occuperemo solo di quei pochi problemi di balistica terminale che possono essere oggetto di una valutazione matematica, senza trattare dei fenomeni di competenza della medicina legale.

Uno dei fenomeni che meglio si presta ad uno studio scientifico è quello della penetrazione del proiettile nei vari mezzi, pur considerando che la diversità dei materiali e la diversità di comportamento dei singoli proiettili, a seconda della loro struttura e della velocità al momento dell'impatto, non consentono il ricorso ad un modello matematico generale, ma soltanto a formule empiriche. Accade infatti, da un lato, che proiettili ad alta velocità si deformino facilmente all'impatto e, d'altro lato, che proiettili molto veloci non facciano a tempo a trasferire la loro energia al bersaglio. Non sono inoltre prevedibili l'esatto angolo di impatto e le deviazioni che si verificano nel passaggio da un mezzo ad un altro.

Punto di partenza per calcolare la penetrazione del proiettile nella maggior parte dei materiali è la sua **energia cinetica o forza viva**; essa può essere calcolata con la formula

$$E_{kgm} = \frac{G \cdot V^2}{2000 \cdot 9{,}81}$$

Oppure, siccome 1kgm = 9,81 Joule

$$E_{Joule} = \frac{G \cdot V^2}{2000}$$

in cui G rappresenta il peso in grammi e V la velocità in m/s.

Le formule che proporremo sono state elaborate per proiettili di pistola incamiciati ed a punta tondeggiante e presuppongono un impatto sul bersaglio ad angolo retto. Se il proiettile colpisce il bersaglio con un angolo minore, il che può accadere per effetto dei movimenti di precessione, anche se il piano del bersaglio è perpendicolare alla traiettoria), la sua capacità di penetrazione sarà naturalmente minore fino a giungere, oltre un certo angolo, al rimbalzo.

Nell'attraversare materiali in più strati può anche accadere che il proiettile, che inizia a penetrare già inclinato, venga ulteriormente deviato nell'attraversamento del primo strato, così da non essere più in grado di attraversare il secondo su cui scivola semplicemente (è all'incirca il fenomeno per cui un raggio di luce viene rifratto quando dall'aria penetra nell'acqua). In linea di massima i risultati ottenibili con le formule sono utilizzabili anche per proiettili di carabina e per proiettili non incamiciati in quanto lo scarto nella penetrazione rispetto al proiettile tipo, se non intervengono deformazioni, può assumersi come costante e lineare e quindi facilmente verificabile in via sperimentale; ad esempio si riscontra sperimentalmente che la penetrazione di proiettili di piombo nel legno o nel ferro è inferiore di circa il 20% rispetto a quella di un proiettile incamiciato di eguale calibro. Particolare cautela occorre nell'applicare le formule a proiettili semicamiciati, proprio per la grande varietà di deformazioni che possono subire. Nelle formule che seguito i simboli sono usati, salvo diversa indicazione, con il seguente significato:

P: penetrazione in cm riferita alla punta del proiettile
E: in chilogrammetri
V: velocità di impatto in m/s
G: peso in grammi
C: calibro in mm.
S: sezione del proiettile in cmq

Penetrazione nel ferro

La penetrazione di proiettili nel ferro (blindature, carrozzerie, ecc.) è stata oggetto di ampi studi in campo militare e la formula più usata è quella di Krupp

$$P = 0{,}194 \cdot \sqrt[4]{\frac{E^3}{C^5}}$$

con cui possono risolversi problemi quali:
a) Quale è la penetrazione massima di un proiettile cal.9 mm.Para se V = 327 m/s?
L'energia E sarà pari a 43,6 kgm

$$P = 0{,}194 \cdot \sqrt[4]{\frac{43{,}6^3}{9^5}} = 0{,}21\ cm$$

b) Un proiettile cal.9 mm. Para possiede, a 200 metri dalla bocca dell'arma, una velocità di 250 m/s e quindi E= 25,5 kgm; può penetrare in un'auto blindata con lamiere di acciaio di mm.2 di spessore?
Avremo

$$P = 0{,}194 \cdot \sqrt[4]{\frac{25{,}3^3}{9^5}} = 0{,}14\ cm$$

Il proiettile non potrà perforare la blindatura.

c) A quale velocità un proiettile cal. 9 mm. Para può ancora perforare una piastra di cm 0,15 di spessore?
In primo luogo dalla formula 1 occorre calcolare la forza viva E occorrente e cioè:

$$E = \sqrt[3]{\left(\frac{0{,}15}{0{,}194}\right)^2 \cdot 9{,}5^2}\ 27{,}6\ kgm$$

Siccome P = 8 g., dalla formula 2 si avrà

$$V = \sqrt[2]{\frac{2000 \cdot 9{,}81 \cdot 27{,}6}{8}} = 260\ m/s$$

d) Quale velocità residua ha un proiettile cal. 9 mm. Para con V= 300 m/s, dopo aver perforato una lamiera di cm 0,1 ?

Alla velocità di 300 m/s (E = 37 kgm) il proiettile potrebbe perforare uno spessore di cm0,186; perciò, dopo aver perforato cm0,1

potrebbe perforare ancora cm 0,086 di lamiera. Applicando il procedimento di cui al problema e) si ottiene che il proiettile per perforare detto spessore deve avere una velocità pari a 180 m/s; infatti

$$E = \sqrt[3]{\left(\frac{0,086}{0,194}\right)^4} \cdot 9^5 = 13,2\ kgm$$

da cui V = 180 m/s che è la velocità cercata.
Esperimenti su portiere di auto hanno dato questi risultati[1]

5,6 mm	.22 l.r.	piombo	WaltherTP	entro la portiera
5,6mm	.22 l.r.	HP	WaltherTP	entro la portiera
5,6 mm	.22Hi-Speed	piombo	WaltherTP	entro la portiera
6,35 mm	Geco	FMJ	Mikros	entro la portiera
7,65 mm	Geco	FMJ	WaltherPP	trapassa
9 Para	Geco	FMJ	FN-Hi-Power	trapassa
45 ACP	Western	FMJ	Governm.	trapassa
38 sp.WC	Geco	WC	Comb.-Magn.	entro la portiera
38 spez.	158 g	piombo	Comb.-Magn.	entro la portiera
38 spez.	200 g	piombo	Comb.-Magn..	entro la portiera
38 spez.	158 g	FMJ	Comb.-Magn.	trapassa
357Mag.	Western	piombo	Comb.-Mngn.	trapassa
357Mag.	Western	FMJ.	Comb.-Magn.	strapassa

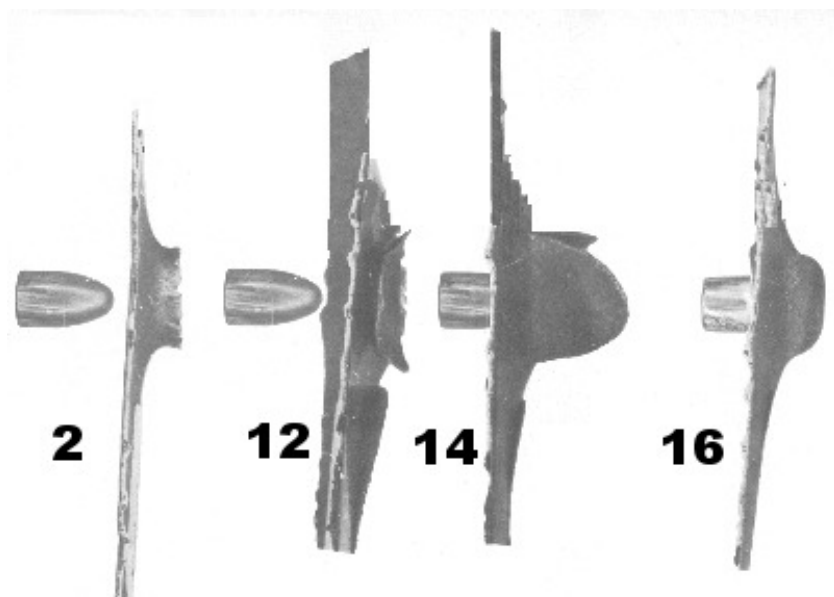
Per la ulteriore penetrazione nel legno truciolato, posto dietro la portiera si sono rilevati i seguenti valori:

Cartuccia	Arma	Penetrazione in truciolato
.22 l.r. HV	PP	1 cm
7,65 mm	PPK	5 cm
.38 spez. piombo	Combat Magnum	2 cm
.38 spez. FMJ	Combat Magnum	5 cm
9 mm Para FMJ	P38	15 cm

Si badi che la formula di Krupp è valida solo per l'attraversamento di uno strato omogeneo di metallo e cioè, ritornando all'esempio del problema a), esso penetra per mm. 2,1 in un blocco di ferro o in tre lastre di mm. 0,7 pressate assieme. Se invece le lastre sono distanziate l'una dall'altra, ad esempio di due centimetri, si assiste al fenomeno quasi paradossale, ma scientificamente spiegabile, per cui il proiettile non ne fora tre, bensì 15 per un totale di ben mm. 10,5.

[1] S. Hübner, Combat-Schiess-Technik, 1971

Il fenomeno è interessante e frequente, specie con proiettili su autovetture, e merita un approfondimento.

La perforazione di strati sottili di acciaio[1]

I numeri indicano la posizione della lastra

Un proiettile 9 para sparato alla velocità di 350 m/s è in grado di perforare 2,3 mm di piastra d'acciaio come può calcolarsi con la formula di Krupp.

Se però si sistemano una serie di lastre sottili, ad es. da 0,7 mm, alla distanza di due cm circa l'una dall'altra si scopre che non ne vengono perforate tre, come ci si attenderebbe in base alla formula o cinque se si calcola la quantità di energia dissipata da ogni lastra, ma bensì 15, con arresto della palla contro la sedicesima, che rimane ben deformata. Si scopre poi che i fori nelle prime 9 piastre sono precisi, rotondi e appena inferiore al diametro del proiettile; dalla decima in poi sono irregolari e di diametro superiore. Dalle prime 9 lastre vengono tranciati dischetti di 7 mm. di diametro; nelle piastre 10-11-12 il metallo è rivoltato all'infuori a corona e la

[1] Adattato da uno studio di W. Weigel, DWJ 1973/8/ pag.780

deformazione sfrangiata cresce nelle lastre successive. Si constata che la deformazione del proiettile inizia solo a partire dalla 10° piastra.

Vediamo la spiegazione matematica del fenomeno.

Sia M la massa del proiettile che ipotizziamo cilindrico, m la massa del dischetto tranciato, Vo la velocità di impatto. $V1$ la velocità del proiettile e u la velocità del dischetto dopo l'attraversamento.

In base alle formule fisiche sull'impulso e la conservazione di energia, si avrà

$$M \cdot V_o = M \cdot V_1 + m \cdot u$$
$$M \cdot (V_o)^2 = M \cdot (V_1)^2 + m \cdot u$$

Da cui si ricava

$$u = V_o + V_1$$
$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{M - m}{M + M} = a$$

L'energia trasmessa al dischetto dall'urto deve quindi essere sufficiente per tranciarlo. Il rapporto tra le velocità del proiettile prima e dopo l'impatto è quindi costante e viene indicato con la lettera a.

Vale a dire che se vengono perforate a questo modo x lastre con un urto esclusivamente elastico, si avrà

$$V_x = V_o \cdot a^x$$

e per l'energia

$$E_x = E_o \cdot a^{2x}$$

Rimangono da perforare y lastre. Il lavoro di tranciatura richiesto sia A. L'energia residua si ripartirà su y perforazioni secondo (Formula 1)

$$y \cdot A = E_0 \cdot a^{2x}$$

Il punto limite a questo effetto si raggiunge quando l'energia del dischetto tranciato diventa più piccola del lavoro necessario.

$$A = (m \cdot u^2) / 2$$

Poiché $u = V_o + V_1$ si può scrivere (Formula 2)

$$A = 1/2 \cdot m \cdot (V_o)^2 \cdot (a^{x-1} + a^x)^2$$

Essendo noti $A,\ m,\ V_o$ si può calcolare x dalla formula 2 e poi y dalla formula 1. Il numero complessivo di lastre forate con tranciatura sarà pari a $x + y$

Esempio di calcolo

Sia il proiettile in cui M = 8 g, V_0= 350 m/s, E_o = 50 kpm; lo spessore delle piastre sia 0,7 mm e quindi la massa del dischetto m = 0,35 g. Si avrà

$$a = (8 - 0{,}35) / (8 + 0{,}35) = 0{,}87$$

Se si pone la resistenza del materiale alla tranciatura pari a 5000 kp/cm^2 si ha A= 0,7 kpm circa e la formula 2 diventa

$$0{,}7 = 1/2 \cdot (0{,}35 \cdot 10\text{-}4) \cdot 3502 \cdot (0{,}875^{x-1} + 0{,}875^{x})^2$$

da cui x - 1 = 8,9

Vale a dire che vengono perforate 10 lastre in modo elastico; le restanti in modo anelastico, come già sperimentato.

La deformazione del proiettile

La deformazione del proiettile subentra solo dopo la decima lastra quando la velocità si è ridotta a

$$V = 350 \cdot 0{,}8759 = 105\ m/s$$

Presupposto per la deformazione è quindi un urto anelastico.

Per studiare meglio il fenomeno, prendiamo diversi materiali e ciò legno di faggio con lo spessore s e palla di piombo nudo.

Per il legno di faggio si ha (Formula 3)

$$S = c \cdot [(V_o)^{1,5} - (V_1)^{1,5}]$$

Ponendo $c = (0{,}01 \cdot M) / k^2$ (si ricorda che per il legno di abete c è tre volte maggiore), si può quindi calcolare la velocità di uscita V_1 e la perdita di velocità $\Delta v = v_0 - v_1$

Il tempo di attraversamento sarà dato da

$$\Delta t = (2 \cdot s) / (v_o + v_1)$$

e la forza che agisce sul fronte del proiettile

$$K = (M \cdot \Delta v) / \Delta t$$

Ora si troverà la parte di energia che agisce deformando il proiettile rispetto alla energia totale consumata, se trasferiamo questo sistema al proiettile in volo.

Data la perdita di velocità Δv, l'energia per la deformazione sarà (Formula 4)

$$E_s = M \cdot (\Delta v)^2 / 2$$

La forza occorrente K_s è uguale alla resistenza alla deformazione:

$$R = F \cdot P \text{ (formula 5)}$$

$$K_s = F \cdot P \text{ (formula 6)}$$

ove F è la superficie della sezione del proiettile e P la durezza del piombo.

Infine l'accorciamento x del proiettile sarà dato da

$$x = E_s / K_s \text{ (formula 7)}$$

La forza K diminuisce in direzione della base del proiettile in modo più che lineare poiché la massa "spingente" diviene sempre più piccola. La deformazione cessa quando $K = F \cdot P$. Poiché la forza non è costante lungo il percorso del proiettile non si ottiene un proiettile più corto ma di maggior dimetro, bensì un proiettile a fungo.

Esempio di calcolo per una tavola di legno di faggio

Sia s = 1 cm, M = 10,2 , V_0= 300 m/s, P = 700 kp/cm^2, sarà per la formula 3

$$s = 0{,}01 \cdot \frac{10{,}2}{81} \cdot 300^{1{,}5} - v_1^{1{,}5}$$

da cui

v_1 = 269 m/s; (Δv = 31 m/s)

E in base alla formula 4

$$E_s = \frac{10{,}2 \cdot 31^2}{2 \cdot 10^2} = 0{,}487\ kpm$$

$$\Delta t = \frac{0{,}01 \cdot 2}{300 + 269} = 3{,}52 \cdot 10^{-5}\ s$$

$$K = 10{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{31 \cdot 10^5}{3{,}52\ kp} = 900\ kp$$

La resistenza allo schiacciamento sarà dato dalla formula 5

$$R = \frac{700 \cdot 0{,}9^2 \cdot \pi}{4} = 441\ kp$$

e quindi per la formula 6

$$K_s = 441$$

Il percorso di deformazione è dato dalla formula 7

$$x = \frac{0{,}487}{441} = 0{,}0011\ m$$

Se si calcola l'accorciamento alle varie velocità si ottiene (valori arrotondati)

v_0 m/s	v_1 m/s	Δv m/s	Es kpm	K kp	x mm
300	269	31	0,487	900	1,10
250	215	35	0,625	830	1,41
200	160	40	0,816	735	1,85
150	103	47	1,120	605	2,53

Si conclude quindi che il proiettile viene tanto più deformato quanto più bassa è la velocità d'impatto. Conclusione confermata dagli esperimenti del Sellier che nella perforazione di ossa cave ha riscontrato una deformazione completa a 150 m/s mentre a 370 m/s si verificava solo una minima deformazione della punta del proiettile. A velocità intermedia (250 m/s) il proiettile era deformato solo per un terzo. Nella perforazione di ossa del cranio il proiettile si deforma a fungo già a basse velocità.

Questa esposizione dettagliata del problema non deve essere fine a sé stessa, ma serve a far comprendere il livello scientifico a cui un perito deve saper affrontare i problemi balistici; non basta davvero sparare qualche colpo contro una portiera per trarre conclusioni a braccio, non supportate dal'analisi teorica.

Penetrazione nel legno

La penetrazione di un proiettile nel legno è presa comunemente come indice dell'efficacia di un proiettile, così che essa veniva sovente riportata nelle tabelle dei fabbricanti di munizioni. Chi ha avuto a che fare con queste tabelle avrà notato che le indicazioni per munizioni dello stesso calibro divergono moltissimo, il che si spiega da un lato con il fatto che i fabbricanti riferiscono la penetrazione a velocità ottimali del proiettile e, d'altro lato, con il fatto che il legno d'abete non è affatto un materiale omogeneo, variando la sua resistenza alla penetrazione persino a seconda della umidità in esso contenuta e della distanza degli anelli annuali di accrescimento.

Ad ogni modo sono state studiate delle formule, elaborate e perfezionate da vari autori nel corso di quasi un secolo (Poncelet, Vallier, Weigel) che consentono di esprimere la penetrazione di un

proiettile di pistola corazzato ed a punta tondeggiante con una approssimazione più che sufficiente. La formula più usata è la seguente di Weigel[1]

$$P = 0{,}03 \cdot \frac{G \cdot V^{1{,}5}}{C^2}$$

Esempio: Calcolare la penetrazione di un proiettile cal.7,65 ACP se V = 220 m/s e G = 4,75 g.

$$P = 0{,}03 \cdot \frac{4{,}75 \cdot 220^{1{,}5}}{7{,}65^2} = 8\ cm$$

La misura della profondità di penetrazione è riferita alla punta del proiettile.
La formula si presta anche alla soluzione di problemi quali abbiamo proposto per la penetrazione nel ferro.
Esempio: quale è la velocità residua del proiettile sopra visto dopo aver attraversato una tavola di 4 cm di spessore?
Il proiettile avrà evidentemente ancora la velocità che gli consentirebbe di perforare altri 4 cm di legno e quindi si potrà scrivere

$$V = \sqrt[1{,}5]{\frac{4 \cdot 7{,}65^2}{0{,}03 \cdot 4{,}75}} = 139\ m/s$$

Nei paesi anglosassoni viene usata talvolta una formula dovuta allo Hatscher del seguente tenore (adattata alle misure decimali)

$$P = \frac{E}{3{,}5 \cdot S \cdot i}$$

in cui *i* indica il fattore di forma.
Esempio: posto che per il proiettile cal.7,65 è V= 220 m/s, E= 11,7 kgm , S= 0,459 cm ed i= 1

$$P = \frac{11{,}7}{3{,}5 \cdot 0{,}459 \cdot 1} = 7{,}3\ cm$$

Il vantaggio di questa formula è quello di consentire di tener conto della forma del proiettile, specialmente se trattasi di proiettili per fucile.

[1] Bock-Weigel, *Faustfeuerwaffen*, Melsungen, 1971

Dati trovati in letteratura: Penetrazione di proiettili per pistola o fucile, interamente camiciati, nel legno di abete (da O. Rinkel, 1934)

Cartuccia	Peso/g	V_0 m/s	Pen./cm
6,35 mm	3,2	228	5,5
6.5 mm. Bergman	4,2	215	5,5
7,65 mm	4,7	295	10
7,65 Para	6	362	17
7,63 Mauser	5,5	428	22
9 mm.corto	6,1	266	7
9 x 57	15,8	670	74
9,3 x 62	19,4	655	82,5
10,75 x 73	26	625	81
5.6 x 52R	4,7	836	76,5
6,5 x 58	10,4	765	111

Penetrazione in cm in legno truciolato (più duro del legno di abete)

5,6 mm	.22 l.r.	piombo	Walther TP	3,5
5,6 mm	.22 l. r.	HP	Walther TP	4
5,6 mm	.22 Hi-speed	piombo.	Walther TP	6,5
6,35 mm	Geco	FMJ	Mikros	6
7,65 mm	Geco	FMJ	Walther PP	8,5
9 mm corto	Geco	FMJ	Frommer	8
9 mm Para	Geco	FMJ	FN-Hi-Power	17,5
.45 ACP	Western	FMJ	Governm.	12
.38 sp. WG	Geco	WC	Comb.-Magn.	4,5
.38 sp.	158 g	piombo	2" Bodygu.	9
.38 sp.	158 g	piombo	4"-Comb.-M.	10
.38 sp.	158 g	FMJ	4"-Comb.-M.	10,5
.38 sp.	200 g	piombo	4"-Comb.-M.	8
.38 sp.	Hi-speed	piombo	4"-Comb.-M.	12
.38 sp.	Hi-speed	FMJ	4"-Comb.-M.	16
.357 Mag.	Western	piombo	4"-Corah.-M.	15,5
.357 Mag.	Remington	FMJ	4"-Comb.-M.	16,5
.44 sp.	Remington	piombo	Liberty	10
.44 Mag.	Remington	piombo	Liberty	18
.44 Mag.	Remington	FMJ	Liberty	19

Penetrazione nelle ossa

Lo studio della penetrazione dei proiettili nelle ossa ha presentato maggiori difficoltà sperimentali rispetto ad altri materiali poiché, evidentemente, gli spessori di osso a disposizione erano limitati e poiché per la conformazione del materiale era difficile ottenere un impatto perpendicolare del proiettile, con conseguente maggior dispersione dei dati raccoglibili.

Si è constatato che la formula che, per proiettili di pistola blindati, fornisce i risultati maggiormente approssimati è la seguente:

$$P = 0{,}44 \cdot \frac{G}{C} \cdot \left(\frac{V - 60}{100}\right)^2$$

Per proiettili a punta arrotondata si deve sostituire la costante 0,44 con la costante 0,30 e per proiettili wad-cutter con la costante 0,15.

Dalla velocità al momento dell'impatto vengono tolti 60 m/s che rappresentano la perdita di velocità dovuta al solo impatto, senza che sia ancora iniziata la penetrazione; ciò significa, in altre parole, che un proiettile con velocità inferiore a 60 m/s produce sull'osso solo un effetto contusivo, ma non ne spezza il tessuto.

Questa velocità limite di 60 m/s è riferita a proiettili per pistola a punta tondeggiante o a proiettili sferici e quindi a densità sezionali medie; nel caso di proiettili con elevata densità sezionale oppure molto appuntiti, è chiaro che la velocità limite sarà inferiore.

Esempio: Calcolare la penetrazione di un proiettile cai.7,65 ACP alla velocità di 180 m/s

$$P = 0{,}44 \cdot \frac{4{,}75}{0{,}765} \cdot \left(\frac{180 - 60}{100}\right)^2 = 3{,}9\ cm$$

Il Sellier[1] fornisce anche la formula per calcolare la perdita di velocità al passaggio di un certo spessore di osso. La formula è

Vr = Velocità residua

Vo = Velocità operante dopo aver tolto i 60 m/s liminari

Calibro in cm

Peso in grammi

S spessore osso perforato in cm

---

[1] K. Sellier, *Schusswaffen und Schusswirkungen*, 2 vol., Lubecca, 1969-1977

$$V_r = V_0 \cdot \left[1 - 2{,}3 \cdot \left(\frac{10^4}{V_0^2}\right) \cdot S \cdot \frac{C}{G}\right]^{0,5}$$

Ad esempio se un proiettile C = 0,635 di P = 3,2 g inizia a lavorare sull'osso a 120 m/s, nel perforare 0,5 cm perderà 10 m/s (esempio del Sellier).

Per la soluzione di problemi derivati, che di solito concernono la velocità residua del proiettile dopo che esso ha attraversato un osso di dato spessore, conviene seguire la via grafica: dopo aver calcolato le penetrazioni in funzione della velocità, per intervalli di alcune decine di m/s, si traccia su carta millimetrata la curva risultante e da essa si leggono poi i valori ricercati.

Penetrazione nella cute e nel corpo umano

Il limite di velocità a cui un proiettile è ancora in grado di bucare la pelle umana, è stato oggetto di molti studi che hanno consentito di ottenere risultati abbastanza univoci, anche se non ancora definitivi.

Secondo gli studi più recenti del Sellier questa velocità limite non è fissa, ma varia per ogni proiettile a seconda della densità sezionale e quindi dell'energia specifica. Si ricorda che la densità sezionale è data dal rapporto tra peso del proiettile e sua superficie frontale; l'energia specifica è invece data dal rapporto tra la forza viva del proiettile e la sua superficie frontale.

Inoltre, occorre tener conto che un proiettile appuntito, a parità delle altre condizioni, penetrerà maggiormente secondo un rapporto con il proprio fattore di forma, che non è stato ancora ben studiato.

La formula proposta dal Sellier per proiettili di pistola o per proiettili sferici è la seguente

$$V_{lim} = 125 \cdot \frac{1}{DS} + 22$$

in cui DS indica la densità sezionale.

Esempio: quale è la velocità limite di pallini da caccia con il diametro di 3 mm.?

Poiché G= 0,157 g e S= 0,07 cm^2 si avrà

$$DS = \frac{0{,}157}{0{,}07} = 2{,}24\ gr/cm^2$$

e quindi

$$V_{lim} = 125 \cdot \frac{1}{2{,}24} + 22 = 77{,}8\ m/s$$

Dalla formula si ricava, ad esempio, che un pallino da caccia di 3 mm di diametro non riesce a perforare la pelle, ma procura solo una contusione, se non raggiunge la velocità di 78 m/s.
Esempio: quale è la velocità limite di un proiettile cal.7,65 ACP posto DS = 10,5 g/cm ?

$$V_{lim} = 125 \cdot \frac{1}{10{,}5} + 22 = 34\ m/s$$

La penetrazione nella cornea dell'occhio risulta essere ancora minore di quella nella pelle. Secondo gli studi più recenti la velocità limite potrebbe essere ben rappresentata dalla formula precedente in cui, in luogo della quantità + 22, venga introdotta la quantità + 40.

La stessa formula può essere usata anche per indumenti; sostituendo a +22 il valore +100 si ha la velocità limite per la tuta da combattimento americana a sei strati di tessuto. Abiti invernali dovrebbero avere valori fra 30-50 (mancano studi, occorre fare sempre esperimenti con lo specifico vestiario).

Il Kneubuehl[1] ha successivamente ridefinito il concetto di velocità limite, come quella del proiettile (o scheggia) che con grande probabilità su di un corpo nudo non provocherà alcun danno, individuando quindi l'energia limite in 0,1 J/mm^2 per la cute e in 0,06 J /mm^2 per l'occhio. L'esperienza insegna che un giocattolo softair può provocare danni all'occhio di un bambino già con 0,025 J /mm^2.

Si ottiene quindi la seguente tabella.

Proiettile	**Peso**	**Cute**		**Occhio**	
	g	Vl / m/s	E / J	Vl / m/s	E / J
2 mm pallino	0.047	116	0,3	90	0,2
3 mm pallino	0,16	94	0,7	73	0,4
4 mm pallino	0,38	81	1,3	63	0,8
4,5 diabolo	0,53	77	1,6	60	1,0
22 l. r.	2,55	44	2,5	34	1,5
9 mm para	8	40	6,4	31	3,8

[1]B.P. Kneubuehl ed altri, *Wundballistik*, Berlino 2008

38 special	10,2	35	6,4	27	3,8
45 Auto	14,8	37	10,2	29	6,1
223 Rem.	3,56	37	2,4	29	1,5
7,62x39 Kal.	8	34	4,6	26	2,7
7,5 GP11	11,3	28	4,4	22	2,7

Si tenga presente che un proiettile pesante (ad es. un sasso) con energia superiore a 4 J provoca comunque un ematona.

Per ottenere valori di sicurezza non si dovrebbe superare la metà del valore di E indicato in tabella.

Penetrazione nei tessuti molli del corpo umano

Lo studio della penetrazione dei proiettili nei tessuti molli del corpo umano, quali le masse muscolari, malgrado l'ampia possibilità di sperimentazione su animali, non è ancora giunto a risultati del tutto univoci, ma essi sono comunque sufficienti per valutazioni orientative.

Mentre per la penetrazione nella gelatina balistica la penetrazione di palle sferiche è data dalla formula

$$P = 1{,}65 \cdot \frac{G}{S} \cdot ln\frac{V}{74}$$

in cui 74 m/s sta per la velocità limite nella gelatina, per la muscolatura il Sellier propone la formula

$$P = 2{,}3 \cdot \frac{G}{S} \cdot ln\frac{V - V_{lim}}{50}$$

con una velocità limite calcolata nel modo visto sopra. Per calcoli riferiti al corpo umano, lo spessore della cute va computato come spessore di tessuto muscolare, ma dalla velocità di impatto del proiettile deve essere detratta la velocità limite di quel dato proiettile rispetto alla cute (cioè la perdita di velocità che il proiettile subisce per il solo effetto dell'impatto). Vale a dire che il calcolo di penetrazione viene eseguito sullo spessore complessivo del tessuto umano, ma alla velocità con cui il proiettile inizia a penetrare effettivamente.

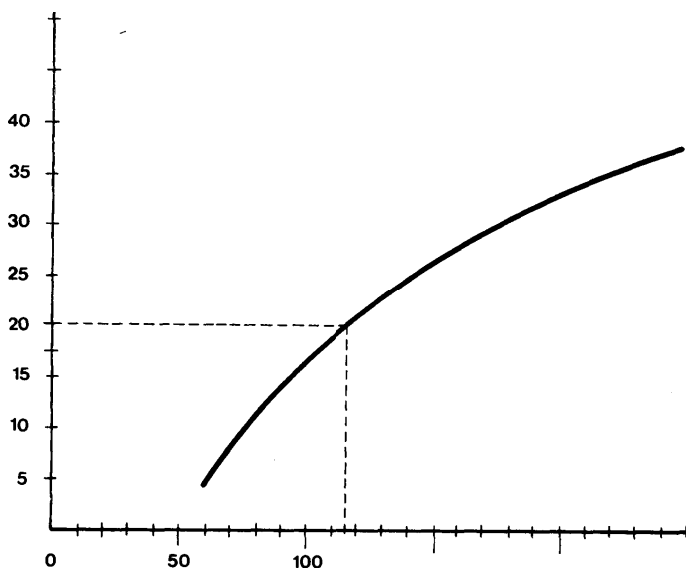
Si ricorda che il logaritmo naturale (ln) di un numero è eguale al logaritmo decimale (log) moltiplicato per 2,3.

In una precedente edizione della sua opera il Sellier aveva indicato la formula, poi superata dai dati sperimentali

$$P = 4,5 \, . \, (G/S) \, . \, \ln(V/84)$$

che fornisce risultati un poco diversi.
Esempio: Calcolare la penetrazione in un corpo umano di un proiettile cal.7,65 ACP, posto V = 270 m/s
Abbiamo già calcolato la velocità limite rispetto alla cute in 34 m/s e quindi si avrà

$$P = 2,3 \, . \, (4,75/0,47) \, . \, \ln [(270-34/50)] = 36 \text{ cm}$$

Per calcoli inversi conviene servirsi di un sistema grafico. Calcolata ad esempio la curva della penetrazione del proiettile cal.7,65 ACP alle varie velocità, è facile leggere da essa la perdita di velocità del proiettile dopo aver perforato un dato spessore di tessuto molle oppure lo spessore di tessuto che il proiettile può ancora perforare con una data velocità residua.
Esempio: Costruita la curva in fig. 1 da essa si ricava che il proiettile cal.7,65 ACP alla velocità di 200 m/s (già detratti i 34 m/s assorbiti dalla cute) può perforare cm 32 di tessuti molli; dopo aver perforato uno spessore di 12 cm esso avrà una velocità residua (linee tratteggiate) pari a 116 m/s.

Le formule sopra riportate non sono solamente delle curiosità matematiche, ma possono orientare nella soluzione di problemi di balistica giudiziaria, di cui si riportano alcuni esempi.

1) Un uomo è stato colpito da un colpo di pistola da circa 100 metri di distanza che ha forato il cranio da parte a parte per complessivi cm 1 di osso; è possibile che sia stata usata una cal. 7,65 ACP?

Un tale proiettile con velocità iniziale di 285 m/s, a 100 metri ha ancora una velocità di 240 m/s. Su di esso si calcolano le singole perdite di velocità:

impatto sulla cute	-35 m/s
impatto con osso	-60 m/s
perforazione di 5 mm di osso	-10 m/s
perforazione 12 cm di cervello a 125 m/s	-35 m/s
impatto con osso sulla parte opposta	-60 m/s
perforazione di 5 mm osso	-10 m/s

Residuano quindi solo 30 m/s, proprio al limite della possibilità della completa perforazione (sperimentalmente si è accertato che da distanza ravvicinata solo l'80% dei proiettili cal. 7,65 perfora il cranio da parte a parte; è quindi possibile, ma improbabile che vi sia riuscito a 100 metri di distanza).

2) Una persona viene colpita alla schiena da un colpo cal. 9 Para da circa 100 metri di distanza, con perforazione della colonna vertebrale e fuoriuscita dalla parte opposta. È possibile che sia un colpo di pistola (V= 280 m/s) o deve ipotizzarsi un colpo di mitra (V= 400 m/s) ?

Le perdite di velocità sono di 60 m/s per impatto e attraversamento cute ed abiti leggeri, 60 m/s per impatto con l'osso spesso 2 cm, 20 m/s per la sua perforazione; rimangono solo 140 m/s insufficienti per perforare tutto il ventre e la cute e gli abiti nella parte anteriore; deve quindi ipotizzarsi che il colpo sia stato sparato con un mitra.

3) Esempio: Può un proiettile di pistola cal.9 Para ledere il cervello alla distanza di 600 metri?

Posto V_{600} = 160 m/s si avrà

Impatto con la cute - 35 m/s

Impatto con osso - 60 m/s
Rimangono quindi 65 m/s sufficienti per forare il cranio e ledere il cervello.

Attenzione; nel fare questi calcoli attenti a non sottrarre due volte la velocità limite, salvo che il proiettile trapassi il corpo e incontri nuovamente la cute!

Penetrazione nel vetro[1]
Per la perforazione del vetro non è stato possibile fissare una formula matematica perché il proiettile subisce rilevanti deformazioni che crescono con lo spessore penetrato e perché la incamiciatura si strappa e si distacca aumentando il volume della cavità.
Sperimentalmente si è visto ad esempio:
- proiettile cal. 22 L.r., 220 m/s, contro vetro di 5,5 mm o contro vetro stratificato da 6 mm;il vetro viene perforato, il proiettile è completamente frammentato, i frammenti penetrano ancora per 4 mm. nel legno di abete.
- proiettile cal. 9 para contro vetro stratificato da 6 mm. proiettile con camiciatura strappata e spesso separata; diametro del foro 16 mm; il proiettile penetra ancora nel legno per 3,3 cm; analogo risultato con proiettile cal 38 Sp., ma penetrazione nel legno di 2,3 cm Il proiettile cal. 45 ACP ha la camiciatura intatta, ma si è deformato a 13 mm di diametro; penetra ancora nel legno per 4 ,5 cm
Ricordo che il foro di entrata è sempre maggiore del diametro del proiettile (a differenza di quanto avviene nella penetrazione dell'osso in cui il foro di ingresso può essere più piccolo, e che il foro sul bersaglio oltre il vetro può presentare una specie di orletto di detersione che spesso ha fatto pensare ad un colpo sparato dentro la stanza da distanza ravvicinata! Si tratta invece di materiale del proiettile abraso dal vetro e facilmente distinguibile con l'analisi dei residui (fenomeno di Vinogradov).
Il foro di uscita dal vetro è sempre allargato ad imbuto allargantesi nella direzione del proiettile. La tabella indica le differenze minime fra diametro proiettile, foro entrata, foro uscita.

---

[1] Karl Sellier, *Schusswaffen und Schusswirkungen*, vol. II, Lübeck 1977

Spessore del vetro	Munizione	Foro entrata	Foro uscita
1 mm	.22 lr. HV	6,01	10,02
	.22 lr.	5,99	10,20
	Z22	6,07	12,13
3 mm	.22 lr. HV	8,75	29,60
	.22 lr.	8,67	35,83
	Z22	8,83	39,17
	9 mm Para	10,50	26,00
	7,65 mm	8,93	24,27
4 mm	.22 lr.	15,10	41,25
Parabrezza Vetro stratificato	.22 lr. HV	13.13	36.00
	.22 lr.	13,42	36,63
	Z22	13.50	41,38
	9 mm Para	11,63	27,75
Vetro di sicurezza	9 mm Para	12,7	33,25

Penetrazione in materiali vari

Per il calcolo della penetrazione in vari materiali, quali terra o mattoni, si può usare la formula di Petry in cui P è il peso in g, C il calibro in mm, V la velocità di impatto in m/s e k un coefficiente con il seguente valore

0,016	Acciaio
0,025	lega di acciaio
0,64	muro di cemento
0,94	muro di pietra
1,63	muro di mattoni
2,29	terreno sabbioso
3	terreno normale erboso
0,336	pietra calcarea
4,565	terreno soffice
5,87	terreno argilloso

La formula richiede che lo spessore totale del materiale sia almeno tre volte quello calcolato; se è inferiore, la penetrazione aumenta.

La penetrazione D in cm sarà data da

$$D = \frac{P_{gr}}{C^2} \cdot k \cdot 100 \cdot log\left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2\right]$$

oppure, se proprio si vuole la formula nella sua originaria precisione matematica

$$D_{[cm]} = 0.55295 K_{[cm^3/gr]} \frac{P_{[gr]}}{C^2_{[cm]}} \ln\left(1 + \frac{v^2_{[m/s]}}{19974.16}\right)$$

Quale riscontro si tenga presente che per un proiettile di pistola cal 7,65, la penetrazione in terra sabbiosa sarà di circa 17 cm

Dati rinvenuti in letteratura

Penetrazione sperimentale in cm del proiettile militare 30-06 (Vo=845 m/s, P= 9,7 g) alla distanza di 180 metri:

	media	massima
Ghiaia	17,7	20
Muro di mattoni	11	16.5
Sabbia asciutta	18,5	20,7
Sabbia bagnata	18,5	23,3
Argilla	62	73,5
Terra sciolta	50	50

IL POTERE D'ARRESTO - STOPPING POWER

Con il termine "potere di arresto" o "Stopping Power" si indica la capacità di un proiettile di rendere l'avversario (o il selvatico aggressivo) immediatamente incapace di agire o di reagire anche se non colpito in punti proprio vitali.

In molti casi, specie in combattimento, non ci si può permettere che il nemico colpito e pieno di adrenalina abbia ancora la possibilità di rispondere al fuoco.

Questa capacità del proiettile dipende da vari fattori:

1) L'energia che sta ad indicare il lavoro meccanico che il proiettile può compiere sui tessuti del corpo; più energia ha il proiettile, tanto più esso può penetrare protezioni e muscolo, tanto più può spezzare ossa. Ma attenzione, quella che conta non è l'energia assoluta, ma quella che il proiettile riesce a cedere.

2) La deformabilità del proiettile e quindi la sua struttura, poiché essa gli consente di cedere maggior energia al corpo e su di un'area più ampia.

3) La capacità di penetrazione e quindi la sua forma e struttura, che deve essere tale da non far uscire il proiettile dal corpo oppure di farlo uscire con una energia residua minima.

4) La velocità del proiettile poiché da essa dipende l'energia e perché quanto maggiore è la velocità, tanto maggiore è l'onda d'urto che si propaga nel corpo. Un proiettile lento può passare ad un cm dal cuore senza fargli alcun danno; un proiettile veloce può danneggiarlo anche se passa a 20 cm da esso. Quando il proiettile viaggia a velocità supersonica (oltre 340 m/s circa) crea avanti a se il cono di Mach e la relativa onda d'urto (si veda il capitolo Acustica dello sparo) e, quando entra in un corpo elastico, un'onda di compressione che all'allontana i tessuti in direzione perpendicolare

al tramite. Si crea quindi una cavità a forma conica allungata, con la parte sottile in avanti; la cavità è tanto maggiore quanto meno elastico è il tessuto. La pressione creata dal proiettile fa sì che solo la punta viene a contatto con i tessuti in quanto si crea un tramite che è maggiore del diametro del proiettile. La cavità che si è creata, dopo pochi millisecondi si richiude ma, non essendosi ancora esaurita l'energia, rimbalza alcune volte così che la cavità si comporta come un corpo pulsante.

La cavità di cui abbiamo parlato viene detta "cavità temporanea", ma più propriamente si deve distinguere:

- la cavità permanente o tramite che è la zona di tessuti strappati con danni macroscopici, per effetto dell'espansione della cavità.

- la zona emorragica (zona di extravasatazione) caratterizzata da piccole emorragie che diminuiscono via via che ci allontana dalla zona del tramite; è la zona in cui i tessuti sono stati allungati e stirati ma con conseguenze solo sui piccoli vasi e nervi.

La somma di queste due cavità ci dà la cavità temporanea il cui volume è proporzionale alla energia ceduta secondo questi parametri: il tramite è pari a cm^3 0,3 per ogni chilogrammetro di energia ceduta, la zona emorragica è pari a cm^3 3,5 per ogni kgm, la cavità temporanea a cm^3 7,7 per ogni kgm (per l'acqua il coefficiente sarebbe 87, ben 11 volte superiore!)[1].

Il problema sta nel definire la capacità del proiettile di cedere energia. Se si prendono due proiettili con eguale energia quello di minor calibro (e quindi con maggior velocità se si vuole ottenere la stessa energia di quello più pesante) cede maggiore energia ai tessuti attraversati perché la cessione è inversamente proporzionale alla densità sezionale ed è per questo motivo che l'orientamento attuale per i fucili è quello di proiettili di piccolo calibro, ma ad alta velocità. La cessione di energia è maggiore se il proiettile si deforma e aumenta quindi il suo calibro momentaneo; la cessione è anche maggiore quanto maggiore e l'angolo di precessione del proiettile: in altre parole se il proiettile non è ben stabilizzato; tra l'altro un simile proiettile crea una cavità temporanea irregolare e "bi-

---

[1] Queste informazioni sono assolutamente sommarie e solo in funzione del tema trattato. Per una esposizione completa si consiglia il testo di Kneubuehl ed altri, *Wundballistik*, 2008, reperibile anche in lingua inglese.

torzoluta". L'effetto "esplosivo" è particolarmente accentuato con proiettili aventi velocità superiore a 800 m/s.

Ricordo che l'effetto di spinta all'indietro del proiettile, come si vede nella maggior parte dei film è del tutto inesistente; non è vero che un uomo o un selvatico colpito da un proiettile venga rovesciato o spinto all'indietro o che la sua corsa verso il tiratore venga rallentata per effetto dell'impatto del proiettile; anzi l'esperienza venatoria insegna che è più probabile che l'animale colpito da fermo cada verso il tiratore! Se ad esempio un leone di 150 kg carica un cacciatore balzandogli contro alla velocità di 20 m/s e gli si spara contro con un proiettile da sei grammi alla velocità di 600 m/s, la matematica ci dice che la velocità del leone diminuirà al valore dato dalla formula

$$V_{leo}= (0.006 * 600 - 150 * 20)/(0,006 + 150) = 19,97 \text{ m/s};$$

vale a dire di 3 cm al secondo!

Sono stati effettuati vasti studi per cercare di determinare un criterio scientifico per valutare il potere di arresto di un proiettile, ma con scarsissimi risultati. E in effetti la ricerca aveva poco senso. Si consideri che per le armi corte i calibri in uso sono una diecina e che non ha senso studiare una formula matematica per un così ridotto ambito di applicazione; si fa molto più presto a compilare una tabella con i risultati degli esperimenti compiuti!

Ad ogni modo, visto che è un argomento molto seguito, riporto qui le varie formule in uso.

Hatscher nel 1934, dopo molti esperimenti ritenne di poter formulare la seguente formula che dà un coefficiente detto Relative Stopping Power (RSP) valido per i proiettili per arma corta

$$RSP = \frac{P}{g} \cdot V \cdot S \cdot F \cdot 100$$

in cui P è il peso in pound. g è la gravità (=32,16), V è la velocità in ft/s, S è la superficie in pollici quadrati ed F è un fattore da 0,9 a 1,5 a seconda del tipo di proiettile (0,9 per camiciati, 1 per proiettili di piombo a punta tonda (RN), 1,10 per semiwadcutter, 1,25 per wadcutter oppure per parzialmente camiciati, 1,5 per hollow point). Il valore per il 9 para è di RSP= 26,26

Josserand, studioso francese, ha proposto invece la formula
STP = Energia * sezione del proiettile e cioè

$$STP = \frac{P \cdot V^2 \cdot C^2}{250000}$$

in cui il Peso è espresso in grammi, la velocità in m/s e il Calibro in mm. Il valore per il cal 9 è di circa 32 Stp

Tailor, leggendario cacciatore africano, autore di un libro su armi e cartucce per tali cacce, ha proposto il fattore TKO (Tailor Knockout). Il valore di TKO eguale ad 1 indica il minimo necessario per uccidere un uomo a breve distanza; per difesa si ritengono necessari valori tra 4 e 12; con 40 punti si ferma un elefante. La formula è data (in misure anglosassoni grani * piedi *pollici) da

TKO = (P * V * C) /7000

e, tradotta in misure decimali (grammi * m/s * mm),

TKO = (P * V * C) / 3500

Il valore per il 9 para è TKO=7,33

Weigel infine propone di prendere come parametro semplicemente il volume della cavità scavata dal proiettile nel legno di abete; criterio valido per i proiettili per arma corta, ma non per quelli da caccia veloci poiché non prende in considerazione gli effetti dell'onda idrodinamica. La relativa formula è

$$Vol = 0.000234 * P * V^{1,5}\ cm^3.$$

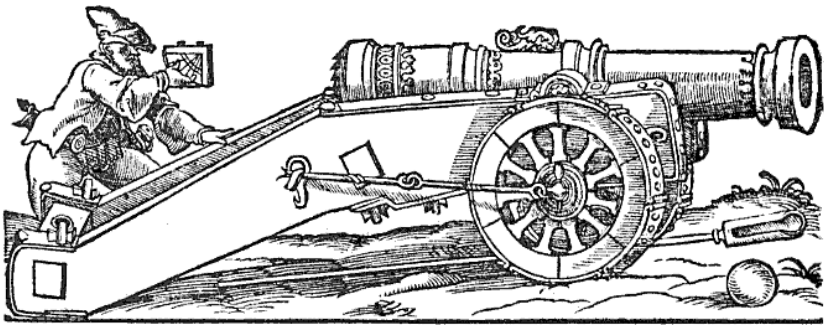
la quale effettivamente consente di ordinare i vari calibri in una sequenza più logica di quella ottenibile con le altre formule.

Gli studi più noti sono:

- The Thompson & LaGarde tests,Ordonance Dept. US Army, 1903; si sparò su carccse di animali e cadaveri;
- The RII (relative incapacitation index), National Institute of Justice, 1972;
- The FBI tests, Quantico Academy, 1980; con spari su materali diversi
- The FBI study, Quantico Academy, 1987;
- The Police Marksman/Fairburn tests, 1989; in base a dati statistici
- The Navy/Crane 9 mm ammo tests, Naval Weapons Support Center, 1991;
- The Strasbourg tests, 1991 di cui ora riferiamo più ampiamente.

Nel 1991 una associazione privata ha svolto una serie di studi utilizzando come cavie capre tutte della stessa razza "alpina francese" e del peso uniforme di circa 80 kg Ogni animale era monitorato elettronicamente e sistemato nella stessa identica posizione; poi veniva sparato un colpo dalla distanza di 3, 5 m. su di un fianco, in zona polmonare; gli strumenti e una telecamera registravano gli effetti dello sparo. Se l'animale non era morto entro 60 secondi, veniva ucciso immediatamente. Poi veniva eseguita l'autopsia e sulla base di tutti i dati (pressione del sangue, attività cerebrale, ecc.) si cercava di stabilire un indice che correlasse il singolo proiettile agli effetti incapacitanti. Il test venne eseguito su 611 capre usando 5 pistole e tre revolver con proiettili di vario tipo nei calibri 38 sp. 357 mag., 360 auto, 9 para, 10mm, 40 auto e 45. I risultati vennero quindi trasformati in un indice detto AIT (Average incapacitation Time) che indica il tempo medio impiegato dalla cavia per crollare a terra. Con il cal. 38 sp. si è verificato spesso che la capra non cadeva e doveva essere uccisa.

Non è il caso di esporre i risultati perché con tutti i calibri, salvo il 38 sp. e il .380, si sono ottenuti tempi medi inferiori ai 10 secondi con i risultati migliori per il 357 magnum, attestatosi attorno ai 7,5 secondi. In conclusione uno studio serio, ma poco utile.

La realtà è che, a parte l'ovvia considerazione che un proiettile tanto fa più danni quanta più energia riesce a cedere al bersaglio (e quindi non lo perfora, si deforma, ha molta energia, crea un'onda d'urto distruttiva, ecc.) il risultato finale dipende in modo determinante dagli organi colpiti.

BALISTICA INTERNA

PROBLEMI DI BALISTICA INTERNA

La balistica interna studia i fenomeni che accadono dal momento della percussione dell'innesco della cartuccia fino al momento in cui il proiettile esce dalla bocca dell'arma, divenendo oggetto di studio della balistica esterna.

A seguito della violenta percussione del percussore sulla capsula dell'innesco, la composizione innescante viene schiacciata contro l'incudinetta della capsula (nel caso della percussione anulare l'innesco viene schiacciato contro il metallo dell'orlo del fondello); la composizione detona producendo un intenso dardo di fiamma che, attraverso i fori dell'innesco, raggiunge la carica di polvere, dando inizio alla sua deflagrazione.

Questa sarà più o meno veloce in relazione alla forza dell'innesco, al tipo, conformazione e quantità della polvere, alla densità di caricamento (rapporto tra volume della polvere e spazio nella cartuccia), alla compressione esercitata sulla polvere, alla forza con cui il proiettile è trattenuto dal bossolo, ecc.. La polvere deve poter bruciare completamente prima che il proiettile esca dalla canna, sia perché così tutta l'energia viene sfruttata, sia per evitare che i residui si infiammino fuori della bocca dell'arma (fuoco di bocca).

La polvere brucia sempre perpendicolarmente alla sua attuale superficie e la quantità di gas prodotti dipende in ogni istante dalla pressione sviluppatasi e dalla forma geometrica dei granelli di polvere. Se la superficie del granello diminuisce durante la combustione (granelli tondi o a lamelle), si ha una polvere degressiva (offensiva), se aumenta (grani o tubetti con più fori) si ha una polvere progressiva; se rimane costante (tubetto con un foro) si ha una polvere neutrale. La velocità di deflagrazione può venire influenzata da trattamenti della superficie del grano.

Le polveri offensive sono più indicate per armi a canna corta in cui non ha senso una pressione che si esplica dopo che il proiettile ha abbandonato l'arma; le polveri progressive sono preferite nelle armi a canna lunga e in tutti quei casi in cui si preferisce non sottoporre ad eccessive sollecitazioni le pareti dell'arma.

La deflagrazione della polvere sviluppa una grande quantità di gas (circa un litro per ogni grammo di polvere) che si dilatano per effetto del calore (oltre 2000 gradi); un litro di gas, racchiuso in uno spazio minimo e sottoposto a tale temperatura produce un aumento di pressione che in un fucile a palla giunge a superare i 3000 kg/cm^2 (circa 500 atmosfere in un fucile a canna liscia). La pressione così sviluppatasi si esercita in tutte le direzioni: contro le pareti del bossolo che viene pressato contro la parete della camera di cartuccia (così assicurando che non sfuggano gas all'indietro), contro il fondello che viene premuto contro l'otturatore, contro il fondo del proiettile che viene spinto in avanti; essa continua a crescere fino al momento in cui il proiettile si svincola dal bossolo e inizia il suo percorso. Aumenta quindi lo spazio a disposizione per i gas, ma fino a che la produzione di gas è maggiore dello spazio a disposizione, continua ad aumentare la pressione, il che aumenta la produzione di gas. Raggiunto l'equilibrio tra i due valori, la pressione inizia a calare. La combustione deve essere regolata in modo da non superare certi valori di pressione massima e di pressione alla bocca ed in modo che la combustione si concluda all'interno della canna. Il picco di pressione massima si verifica molto presto, in genere da alcuni millimetri a pochi centimetri di percorso del proiettile e la pressione alla bocca deve essere cinque o sei volte minore.

Durante il percorso nella canna il proiettile viene costantemente accelerato nel suo moto così che esce dalla bocca con il massimo della velocità. La pressione invece si riduce a poche centinaia di atmosfere. In genere in un'arma leggera l'aumento della lunghezza della canna non comporta alcun aumento della velocità del proiettile oltre i 60-70 cm di lunghezza. Nelle armi a canna liscia a pallini, accurati esperimenti hanno dimostrato che, a parità di strozzatura, oltre i 60 cm di lunghezza si ha un aumento di velocità pari a circa 1 m/s per ogni centimetro in più e quindi, nella pratica, un aumento trascurabile.

Un parametro importante nei calcoli di balistica interna è data dal "rapporto di espansione" (inglese: *expansion rate*) che dà il rapporto tra pressione massima, pressione alla bocca, volume interno della canna e volume interno del bossolo:

$$\frac{P_{max}}{P_0} = 1 + \frac{V_c}{V_b}$$

Altro importante parametro è dato dal rapporto tra pressione media e pressione massima.

Il valore della pressione media è dato dalla formula

$$P_m = \frac{10 \cdot (m + 1/2 \cdot m_c)}{2 \cdot S \cdot L} \cdot V_0^2$$

in cui

m = peso del proiettile in g

mc = peso della polvere in g

V_0 = velocità alla bocca in m/s

S = sezione della canna in mm quadrati

L = spazio libero percorso dal proiettile

Il valore della pressione massima deve essere misurato sperimentalmente oppure ricavato dalle tabelle delle munizioni o di ricarica delle varie polveri.

Calcoli di balistica interna

Il balistico tedesco Heydenreich, sulla base di esperimenti compiuti all'inizio del secolo, ha elaborato una serie di formule empiriche che consentono di eseguire i principali calcoli di balistica interna con accettabile approssimazione. Sia

Pm	pressione media
Pmax	Pressione massima
Xpmax	Spazio percorso dal proiettile fino al raggiungimento della pressione massima
Vpmax	Velocità del proiettile al raggiungimento della pressione massima
Tpmax	Tempo impiegato a raggiungere la pressione massima
Po	Pressione alla bocca
Xo	Percorso del proiettile fino alla bocca
Vo	Velocità del proiettile alla bocca
To	Tempo impiegato dal proiettile per raggiungere la bocca
Px	Pressione dopo che il proiettile ha percorso lo spazio x
Vx	Velocità dopo che il proiettile ha percorso lo spazio x

Tx Tempo impiegato a percorrere lo spazio x

I valori ricercati potranno essere calcolati agevolmente mediante l'uso della prima tabella di valori, sulla base della conoscenza di

$$\varepsilon$$

con le seguenti formule:

$$X_{pmax} = X_0 \cdot A_\varepsilon \ (mm)$$

$$T_{pmax} = \frac{2X_0}{V_0} \cdot A_\varepsilon \ (ms)$$

$$V_{pmax} = V_0 \cdot C_\varepsilon \ (m/s)$$

$$P_0 = P_m \cdot D_\varepsilon \quad (m/s)$$

$$T_0 = \frac{2X_0}{V_0} \cdot F_\varepsilon$$

Una seconda tabella consente invece di calcolare pressione, velocità e tempi in relazione allo spazio percorso, conoscendo il valore **λ** del rapporto tra spazio percorso e Xpmax.

$$\lambda = \frac{X}{X_{p\,max}}$$

Le formule da applicare sono:

$$P_x = P_{max} \cdot G_\lambda$$
$$V_x = V_{pmax} \cdot H_\lambda$$
$$T_x = T_p \cdot J_\lambda$$

Quindi, se sono noti la pressione massima e la velocità alla bocca di una cartuccia, è possibile calcolare i valori lungo tutto il percorso del proiettile entro la canna.

Vediamo un esempio pratico di calcolo (da Beat P. Kneubuehl, *Geschosse*, 1994).

Sia un proiettile cal. 38 del peso di g. 10,2. Il peso della polvere sia 0,26 g, lo spazio libero percorso dal proiettile 123 mm, (alla

lunghezza della canna va aggiunta la lunghezza del proiettile) la velocità alla bocca 265 m/s, la pressione massima 1600 bar, la sezione della canna 62,77 mm quadrati. Si avrà

$$P_m = \frac{10 \cdot (10{,}2 + 1/2 \cdot 0{,}26) \cdot 265^2}{2 \cdot 62{,}77 \cdot 123} = 470\ bar$$

$$\epsilon = \frac{470}{1600} = 0{,}29$$

E quindi:
Xpmax = 123·0,0383 = 4,7 mm
Tpmax = [(2·)/265] · 0,165 = 0,15 ms
Vpmax = 265 ·0,331 = 87,7 m/s
Po = 470 · 0, 237 = 111 bar
To = [(2·123)/265]·0,754= 70 ms

Il valore di λ sarà dato da 123/4,7 = 26,17

Le formule non tengono conto della perdita di pressione tra tamburo e canna nei revolver e perciò è meglio non usarle su di essi.

Velocità dei gas alla bocca

I gas di sparo escono dalla bocca con grande velocità che, per le pistole, supera quella del proiettile; essi quindi, per un breve tratto, oltrepassano il proiettile.

La velocità dei gas può essere calcolata con la formula di Laval

$$V_{gas} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[2]{\frac{p_{0 \cdot V_c}}{m_c}}\ ms$$

in cui Vc ed mc sono i valori già visti sopra.

TABELLA I dei fattori di Heydenreich

ε	A	B	C	D	F
0.25	0.0313	0.139	0.324	0.216	0.725
0.26	0.0330	0.146	0.326	0.220	0.732
0.27	0.0347	0.152	0.327	0.226	0.740
0.28	0.0365	0.159	0.329	0.231	0.747
0.29	0.0383	0.165	0.331	0.237	0.755
0.30	0.0402	0.172	0.333	0.242	0.762
0.31	0.0421	0.178	0.335	0.250	0.770
0.32	0.0440	0.186	0.337	0.256	0.777
0.33	0.0460	0.193	0.339	0.263	0.785
0.34	0.0480	0.200	0.341	0.269	0.792
0.35	0.0500	0.207	0.343	0.278	0.800
0.36	0.0521	0.214	0.345	0.282	0.807
0.37	0.0542	0.222	0.347	0.288	0.814
0.38	0.0563	0.229	0.350	0.294	0.822
0.39	0.0585	0.237	0.351	0.300	0.829
0.40	0.0608	0.244	0.354	0.304	0.836
0.41	0.0631	0.252	0.356	0.313	0.844
0.42	0.0654	0.260	0.359	0.319	0.851
0.43	0.0678	0.268	0.361	0.325	0.858
0.44	0.0703	0.276	0.364	0.332	0.866
0.45	0.0729	0.284	0.366	0.340	0.873
0.46	0.0756	0.292	0.369	0.346	0.880
0.47	0.0784	0.301	0.371	0.354	0.888
0.48	0.0813	0.309	0.374	0.363	0.895
0.49	0.0843	0.318	0.377	0.372	0.902
0.50	0.0875	0.326	0.380	0.382	0.910
0.51	0.0908	0.335	0.383	0.394	0.918
0.52	0.0944	0.343	0.386	0.407	0.926
0.53	0.0981	0.352	0.390	0.421	0.934
0.54	0.1020	0.361	0.393	0.437	0.942
0.55	0.1061	0.370	0.396	0.454	0.950
0.56	0.1099	0.379	0.399	0.470	0.958
0.57	0.1141	0.388	0.403	0.487	0.966
0.58	0.1185	0.397	0.406	0.505	0.974
0.59	0.1230	0.406	0.409	0.524	0.983

TABELLA 2 dei fattori di Heidenreich

λ	G	H	J
0.25	0.741	0.392	0.610
0.50	0.912	0.635	0.780
0.75	0.980	0.834	0.903
1.00	1.000	1.000	1.000
1.25	0.989	1.130	1.081
1.50	0.965	1.262	1.154
1.75	0.932	1.366	1.219
2.00	0.898	1.468	1.282
2.50	0.823	1.632	1.394
3.00	0.747	1.763	1.495
3.50	0.675	1.875	1.589
4.00	0.604	1.983	1.682
4.50	0.546	2.068	1.769
5.00	0.495	2.140	1.851
6.00	0.403	2.269	2.012
7.00	0.338	2.363	2.163
8.00	0.284	2.445	2.309
9.00	0.248	2.509	2.451
10.00	0.220	2.566	2.589
11.00	0.199	2.615	2.725
12.00	0.181	2.659	2.858
13.00	0.164	2.702	2.988
14.00	0.150	2.740	3.116
15.00	0.137	2.777	3.253
16.00	0.125	2.811	3.390
17.00	0.117	2.837	3.502
18.00	0.109	2.862	3.618
19.00	0.102	2.887	3.740
20.00	0.096	2.910	3.816
25.00	0.073	3003	4455
30.00	0.058	3.075	5.031
35.00	0.048	3.162	5.657
40.00	0.041	3.223	6.261

Velocità iniziale del proiettile

Nella costruzione di un'arma si cerca sempre di ottenere la maggior velocità possibile del proiettile; questa velocità incontro i limiti della resistenza delle canne alla pressione e all'usura e alla necessità di non aumentare il peso della polvere oltre un certo limite.

Negli anni successivi alla I Guerra Mondiale, sorta la necessità di proiettili molto veloci per il tiro antiaereo e anticarro, proseguirono in Germania gli esperimenti per vedere se era possibile superare il limite di velocità dei proiettili imposto dall'usura delle canne. Il risultato non fu soddisfacente perché con velocità attorno a 1200 ms le canne divenivano inutilizzabili dopo 150-250 colpi, sparati in tempi distanziati.

Inoltre, al crescere della velocità richiesta, il peso della polvere necessaria cresceva in modo esponenziale. Se per 1000 m/s la carica di polvere pesava il 40% del peso del proiettile, per ottenere 1300 m/s occorreva un peso di polvere pari a quello del proiettile. Ad esempio mentre 4,3 kg di polvere sono sufficienti per imprimere 500 m/s ad un proiettile cal. 15 cm da 45,3 kg, ne occorrono 20 per imprimergli la velocità di 900 m/s e ben 61 kg per ottenere 1500 m/s! Ciò è la conseguenza del fatto che al momento dello sparo non viene accelerato solo il proiettile, ma anche circa il 40% della carica di lancio al fine di assicurare l'aumento di velocità per tutta la lunghezza della bocca da fuoco. La velocità limite teorica è perciò la velocità a cui un aumento della carica di polvere non comporta più alcun aumento nella velocità del proiettile, e si aggira, per una polvere di 950 cal/kg, attorno ai 2350 m/s. Però, a parte lo spreco di polvere ed a parte la necessità di canne lunghissime, non vi è canna che resista per più di pochi colpi.

Si concluse quindi che la velocità pratica non poteva superare i 1000 m/s, velocità che già riduceva la durata di una canna da 150 mm a 350 colpi (contro gli 11.000 alla velocità di 500 m/s!).

Nel 1932 venne adottata la polvere RPC/32 con soli 825 cal/kg e ciò consentì di portare la durata delle canne a circa 1000 colpi. Tempo dopo questa polvere, per ragioni di autarchia, venne sostituita con una polvere a base di glicolo e guanidina.

Negli anni 1932-1934 Gerlich sostenne di aver risolto il problema e di poter raggiungere velocità fino a 1400 ms. La sua idea era quella di usare canne con foratura conica, e un proiettile con un or-

lo deformabile attorno al corpo (*Flanschengeschoss*, lett. proiettile flangiato, anche se la flangia non c'entra affatto), in grado di adattarsi al progressivo restringimento della canna, così che il proiettile avesse nella canna una bassa densità sezionale (e quindi una maggior superficie di spinta) e all'esterno una elevata densità sezionale. L'idea non era nuova perché era già stata proposta, negli stessi termini da un certo Puff nel 1903.

Nella pratica però si riscontrò che questo sistema, che complicava enormemente la produzione delle canne e dei proiettili, non presentava vantaggi sufficienti.

Si affermarono invece i proiettili con sabot che risolvono egualmente bene l'esigenza delle due diverse densità sezionali. Neppure essi però superano il problema della resistenza della canna e del peso della carica di polvere e quindi si può concludere che allo stato delle cose la velocità massima praticamente auspicabile per un proiettile di arma da fuoco è attorno i 1200 ms.

Nel valutare i dati relativi alle munizioni per armi leggere occorre ricordare che i dati forniti dai fabbricanti di cartucce non hanno valore assoluto, ma sono dei valori medi che possono presentare scarti anche del 5%; vale a dire che un proiettile che si indica avere una V_0= 1000 m/s può, in effetti, avere una velocità iniziale da 950 a 1050 m/s

La velocità del proiettile dipende anche dalla più o meno marcata forzatura fra le righe, dalla perdita di energia meccanica conseguente all'attrito interno dell'anima, dalle condizioni atmosferiche che influenzano la combustione della carica di lancio, per tacere poi dello stato di conservazione delle polveri nella cartuccia, che meriterebbe un capitolo a sé stante.

Particolare rilevanza nel fenomeno, assume la lunghezza della canna.

La velocità iniziale dei proiettili indicata dalle ditte produttrici è quasi sempre riferita ad una canna di prova, perfettamente rifinita e con spazio tra i pieni della rigatura leggermente inferiori a quelli delle canne di serie; la lunghezza standard adottata è, in genere, di 60 cm, che consente un rendimento pressoché ottimale, considerato che oltre questa misura l'aumento di velocità è trascurabile, salvo che per cartucce con forte carica di polvere e proiettile leggero.

Si tenga perciò sempre presente che un cal. 9 para, indicato dal produttore come avente una velocità media di 380 m/s, in realtà avrà 350 m/s in una pistola e 450 m/s in una pistola mitragliatrice.

La velocità reale, in breve, soprattutto nelle armi corte, può essere di gran lunga inferiore a quella che si potrebbe presumere leggendo i dépliants delle case costruttrici. Nelle rivoltelle, in particolare, è necessario tener conto della perdita di pressione dovuta alla maggiore o minore fuga di gas fra tamburo e canna (in termini di energia la perdita per rivoltelle di qualità è del 15-20%).

La fessura canna-tamburo

Un inconveniente dei revolver rispetto alle pistole semiautomatiche è la perdita di pressione dei gas in coincidenza con il gioco che necessariamente deve esistere tra il tamburo e la canna (ma non bisogna trascurare che anche in una pistola vi sono perdite di energia utilizzata per il movimento dei pezzi). Questo gioco, specie in passato, poteva comportare perdite di energia del proiettile fino al 30%, così annullando la maggior potenza nominale delle munizioni. Tra l'altro l'influenza della fessura varia in relazione alla velocità di combustione della polvere e quindi rende imprevedibile la velocità finale in relazione alla lunghezza della canna, Si ricorda che i fabbricanti misurano la velocità iniziale delle loro munizioni per arma corta in canne con culatta chiusa e lunghe 212 mm, così che i dati di fabbrica ben poco ci dicono sulla effettiva velocità realizzata in un'arma.

Il Nagant aveva cercato di ovviare al difetto nel suo famoso revolver in cui il colletto del bossolo al momento dello sparo impegnava l'inizio della canna, ma il suo sistema non poteva essere generalizzato.

Una semplice e geniale soluzione è stata escogitata nei cannoni automatici d'aereo, con cadenza anche di 1800 colpi al minuto; in essi la parte della camera di cartuccia compreso tra bocca del bossolo e piano di culatta della canna è costituita da un manicotto mobile, costruito come uno stantuffo con anelli di tenuta, che il proiettile e i primi gas che escono dal bossolo spostano in avanti di quel minimo che basta a premerlo contro il piano di culatta ove viene trattenuto dalla pressione stessa dei gas.

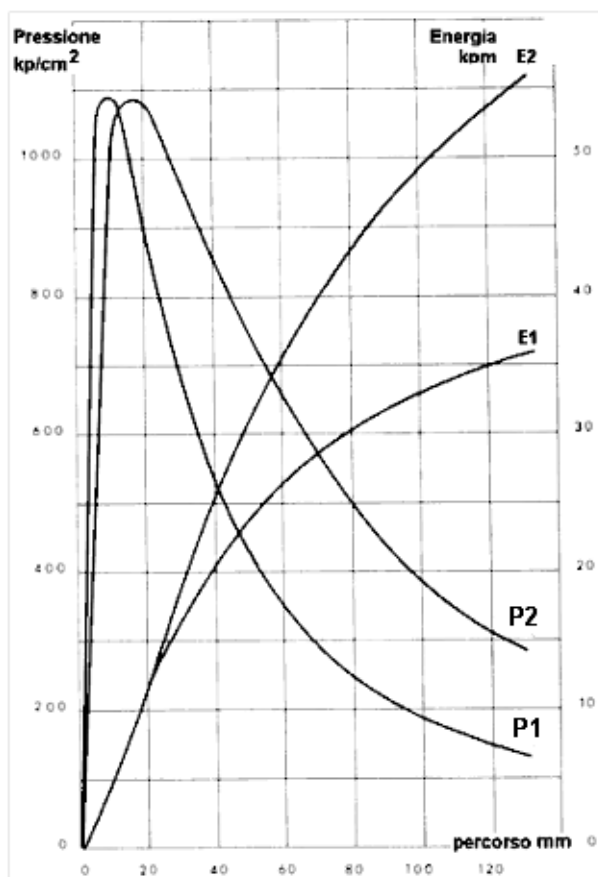
Vediamo ora di esaminare più a fondo il problema.

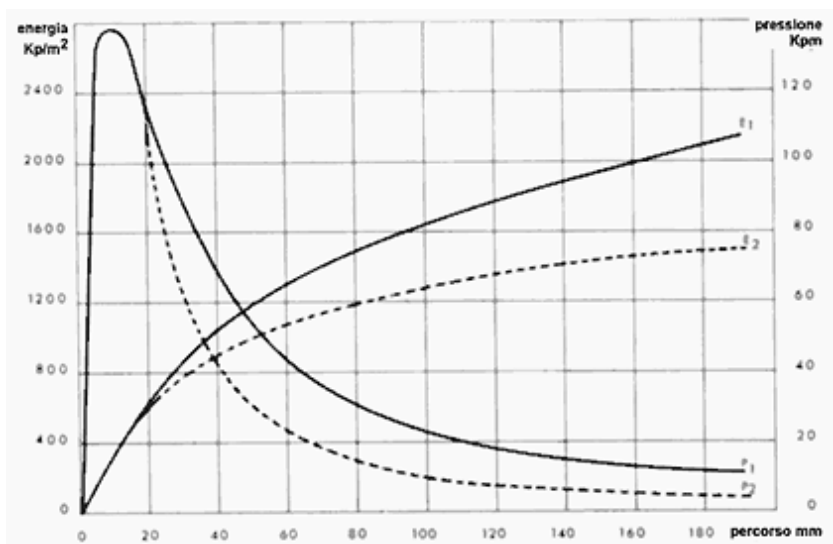
Il gioco tra canna e tamburo nelle pistole moderne va da 0,1 mm. a 0,25 mm il che, con una canna di calibro 9 mm, sta ad indicare uno sfiato quale si avrebbe da un foro di 2-3 mm di diametro. Però bisogna tener presente che al momento delle sparo la pressione fa aumentare il gioco ulteriormente in relazione alla qualità ed elasticità del materiale con cui è costruito il castello. Quanto più alta la pressione dei gas, tanto maggiore sarà il quantitativo di gas che sfiateranno.

Nei revolver in genere si usano polveri offensive a rapida combustione (polveri vivaci) con cui il massimo della pressione si raggiunge già dopo pochi millimetri di percorso del proiettile. La pressione è quindi già calata quando il proiettile passa la fessura e consente ai gas di sfiatare. Queste polveri però non sono adatte per munizioni di grosso calibro in cui le pressioni salirebbero a livelli inaccettabili e perciò si ricorre a polveri progressive; con queste il picco di pressione si ha con un certo ritardo che lo porta a verificarsi in prossimità o coincidenza con la fessura, con uno sfiato e una perdita di energia maggiore che può annullare il vantaggio della maggior potenza.

Vediamo un esempio pratico.

Si abbia una cartuccia cal. 38 sp. e palla di 10,2 grammi, caricata una volta con polvere offensiva (g. 0,237 di R1-Norma) e una volta con polvere progressiva (g. 0,715 di R3-Norma) in modo da ottenere la stessa pressione di 1085 kg/cm^2). Per calcolare il punto in cui si trova la base del proiettile nel momento di massima pressione ci serviamo del procedimento di Heydenreich e troviamo che esso sarà avanzato di circa 10 mm nel primo caso e di circa 17 mm nel secondo caso.

Se ora spariamo le cartucce in una canna manometrica di 152 mm. otterremo le due curve P1 e P2 di figura 1 da cui si vede come la polvere offensiva, a parità di condizioni iniziali, perda più rapidamente in velocità ed in energia.

Se ora prendiamo una cartuccia cal. 357 magnum con polvere progressiva (R2-Norma) e la spariamo prima in un'arma senza fessura e poi in un revolver otteniamo le due curve qui sotto riportate in cui la linea tratteggiata è quella relativa al revolver, disegnata in base ai dati medi della letteratura americana, e da cui si ricava la perdita di pressione ed energia in relazione alla lunghezza del percorso complessivo del proiettile nella canna (la lunghezza della canna sarà circa 20 mm di meno) . Perdita rilevante perché superiore al 40%.

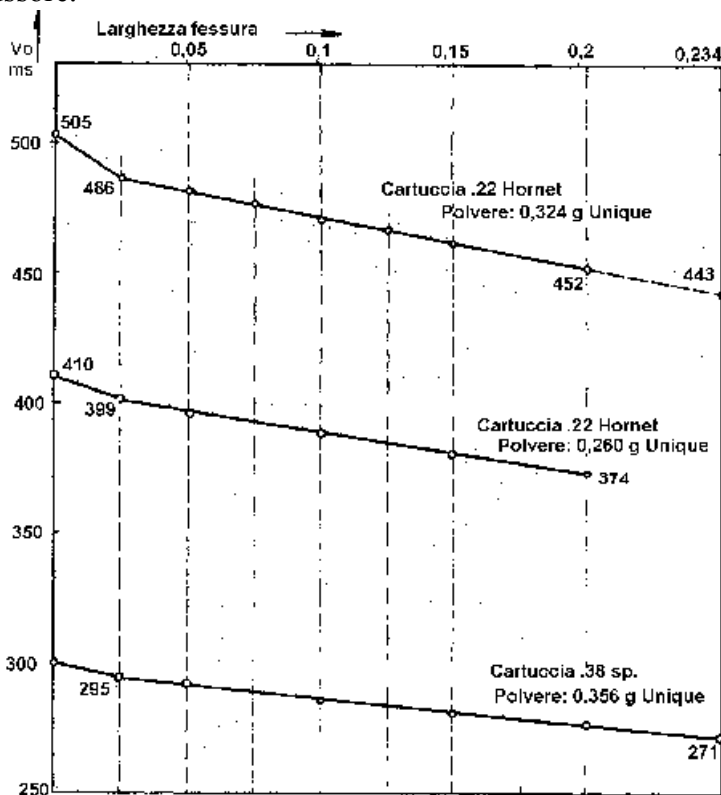
Dalla figura si rileva come la perdita sia ben maggiore se la canna è più corta; con una canna di 64 mm, essa diventa del 50%.

Ma allora quale è la lunghezza di canna che consente di avere il risultato più vantaggioso? Se si assume come dato di esperienza che non ha senso di aumentare di un cm la lunghezza della canna se non si guadagna almeno lo 1% in velocità, si vede che non ha senso, per la cartuccia in esame, una lunghezza superiore a sei pollici; per il cal. 38 sp. si otterrebbe un valore di 4 pollici.

Riporto qui alcuni dati sperimentali che dimostrano la differenza di energia in diverse armi

Cartuccia	Canna chiusa	Revolver			
	152 mm	**152 mm**	**152 mm**	**102 mm**	**51 mm**
38 sp					
Remington	368 J	296 J		275 J	234 J
Alta velocità	605 J	440 J		377 J	306 J
357 magnum	**221 mm**	**212 mm**			
Western Sup.X	980 J	840	780	700	570
Remington	980 J	680	620	530	510
41 Magnum	**212 mm**	**212 mm**			
Palla piombo	860 J	700 J	616 J	555 J	
Semiciamiciata	1620 J	1420 J	1150 J	980 J	

L'esperto americano Edward M. Yard già nel 1964 aveva compiuto degli esperimenti per stabilire quanto varia la velocità in relazione alla larghezza della fessura, usando una apposita apparecchiatura in cui questa larghezza poteva essere progressivamente aumentata ogni volta di un centesimo di pollice; l'esperimento consentì di accertare che già con una fessura di un millesimo di pollice (0,0254 mm) si ha una caduta consistente di velocità, che poi, al crescere della fessura, cala in modo lineare.

Dalla curva si vede che già con tale fessura si ha un calo del 2-3% che poi continua a decrescere dello 0,95% per ogni millesimo di pollice in più.

Come curiosità egli segnala che in alcuni casi, con una fessura di mezzo millimetro, si verificava che il cane del revolver si riarmasse da solo, ottenendosi una specie di revolver semiautomatico! Ciò è dovuto all'eccessivo spazio che si crea dietro al bossolo che al momento dello sparo viene proiettato violentemente contro il percussore.

La lunghezza della canna e la velocità del proiettile

La variazione di velocità dipendente dal variare della lunghezza della canna, naturalmente entro limiti ragionevoli (per una pistola non avrebbe senso una canna lunga meno di 4 cm o più di 40 cm), può essere calcolata in modo alquanto approssimativo assumendo che la variazione di velocità sia proporzionale alla radice 4[a] degli spazi percorsi dai proiettili nelle rispettive canne. Lo spazio percorso dal proiettile si calcola misurando la lunghezza che intercorre tra la punta del proiettile nella canna e la bocca dell'arma e aggiungendo ad essa la lunghezza del proiettile. Si avrà quindi

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt[4]{\frac{s_1}{s_2}}$$

da cui

$$v_2 = v_1 \cdot \sqrt[4]{\frac{s_2}{s_1}}$$

Esempio:

Sia dato il percorso di un proiettile cal. 9 Parabellum nella canna di una pistola pari a cm 15 e sia V_0 = 320 m/s Quale sarà la velocità V_2 sviluppata in una canna in cui il proiettile compie un percorso di cm 4,8 ?

$$v_2 = 320 \cdot \sqrt[4]{\frac{4{,}8}{15}} = 240\, m/s$$

Se dalla velocità sviluppata nella canna corta si dovesse risalire alla velocità nella canna lunga, si avrebbe

$$v_1 = 240 \cdot \sqrt[4]{\frac{15}{4{,}8}} = 319\, m/s$$

A titolo esemplificativo si riportano i dati sperimentali ottenuti sparando con armi eguali, ma con canne di lunghezza decrescente cartucce cal. 7,65 Browning (proiettile di g.4,75) e cal.9 Parabellum

Calibro 7,65 mm		Calibro 9 mm. Par.	
Canna	Velocità	Canna	Velocità
mm.	m/s	mm.	m/s

120	295	130	377
100	287	120	368
80	270	110	357
		100	345

Risultati molto più precisi si possono ottenere con formule che prendono in considerazione anche la progressività della polvere impiegata.

Posto

S = percorso in mm. del proiettile nella canna (misurato dalla base del proiettile alla bocca dell'arma)
C = calibro in mm.
P = peso del proiettile in g
M = peso della polvere in g
R = costante, variabile a seconda della polvere
la balistica interna ci insegna che la velocità del proiettile sarà data dalla formula (Weigel) :

$$V_o = \sqrt[4]{\frac{S}{10 \cdot C}} \cdot R \cdot \sqrt[2]{\frac{M}{P}}$$

da cui, nota la velocità iniziale di un dato proiettile, sparato da una canna di determinata lunghezza e noto il peso della polvere, si potrà ricavare la costante R

$$R = \frac{V}{\sqrt[4]{\frac{S}{10 \cdot C}} \cdot \sqrt[2]{\frac{M}{P}}}$$

Sarà quindi facile sostituire il valore così trovato nella formula precedente e calcolare la variazione di velocità per ogni diversa lunghezza di canna.

Esempio:

Si abbia il proiettile cal.9 Parabellum con palla di g.7,5 e con carica di polvere di g 0,26 il quale sviluppa una velocità iniziale di 332 m/s e supponiamo che sia stato sparato in una canna di 120 mm. con un percorso del proiettile pari a (120-15) = 105 mm. e senza perdite di gas.

La costante R della polvere sarà data da

$$R = \frac{332}{\sqrt[4]{\frac{105}{10 \cdot 9}} \cdot \sqrt[2]{\frac{0,26}{7,5}}} = 1716$$

Supponendo ora che nella stessa arma si impieghi una canna di 80 mm. (percorso libero pari a 65 mm.), la velocità diverrà

$$V_0 = \sqrt[4]{\frac{65}{10 \cdot 9}} \cdot 1716 \cdot \sqrt[2]{\frac{0,26}{7,5}} = 294\, m/s$$

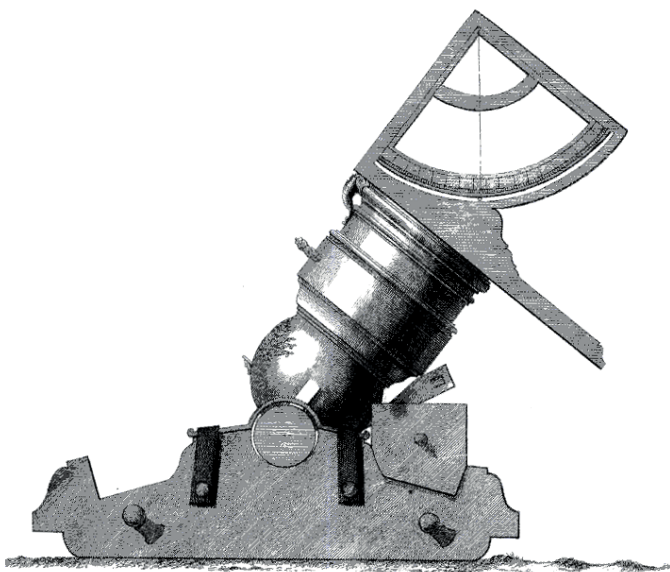
Per quanto concerne le canne dei fucili da caccia a pallini, accurati esperimenti hanno dimostrato che, a parità di strozzatura, oltre i 60 cm di lunghezza si ha un aumento di velocità pari a 1 m/s per ogni centimetro in più, e viceversa.

Vale a dire che se una cartuccia sviluppa la velocità di 350 m/s in un fucile con canna di 60 cm, in un fucile con canna di 76 cm, ed eguale strozzatura, svilupperà 366 m/s con un vantaggio trascurabile. La canna lunga aiuta un po' il tiratore perché è più lunga la linea fra i punti di mira, ma è meno maneggevole nel bosco. Un tempo, quando si tirava da cavallo, la canna era tenuta lunga per poter sparare oltre le orecchie del cavallo che altrimenti sarebbero state investite dalla fuoco di bocca!

Nelle armi da caccia a canna rigata la lunghezza standard è di 60-65 cm in cui si ha il giusto rapporto fra sfruttamento della polvere e riduzione della fuoco di bocca.

Diminuendo la lunghezza della canna, la perdita di velocità è comunque modesta

Calibro		calo in m/s
6,5		30
7	carica debole	30
7	carica forte	50
8	carica debole	20
8	carica forte	40

Un aumento della lunghezza oltre i 65 cm non ha senso, salvo che per cariche molto speciali. Sparando con il cannocchiale non ha alcuna importanza la lunghezza della linea di mira.

ARGOMENTI VARI

BALISTICA DELLA FRECCIA[1]

La freccia è un proiettile del tutto particolare perché ha bassa velocità, alta densità sezionale, stabilizzazione non giroscopica, ma mediante impennaggio.

La traiettorie di una freccia può essere calcolata trascurando la resistenza dell'aria stante le basse velocità; anzi per azione dello "effetto Munk", fenomeno che più semplicemente possiamo considerare come un effetto di portanza della freccia, per cui essa cade un po' meno di quanto indicato dalla formula sulla caduta dei gravi, la traiettoria può considerarsi validamente descritta dalle formule per il vuoto. Questo non vale ovviamente per le frecce "frenate" flu-flu.

Bisogna distinguere nelle prestazioni l'arco lungo dall'arco compound e dalla balestra. Ecco alcuni dati sperimentali.

Le velocità medie ottenibili sono di 67 m/s per il compound, 47 m/s per l'arco lungo. 44 m/s per la balestra con una perdita di velocità media di 0,1-0,2 m/s ogni metro

Calo in metri della velocità alle varie distanze

Arco	ΔV (m/s)	V_3(m/s)	V_8(m/s)	V_{15}(m/s)	V_{30} (m/s)
Lungo	0,13	44,1	43,5	42,5	40,6
Balestra	0,10	47,0	46,5	45,8	44,3
Compound	0,17	66,9	66,1	64,9	62,3

Come si vede il calo di velocità si può considerare costante per ogni metro percorso.

La conseguente energia sarà quindi:

[1] Hubert Sudhues, *Wundballistik bei Pfeilverletzungen*, Tesi, Università di Münster, 2004

Arco	Eo(J)	E8(J)	Ei5(J)	E3o(J)
Lungo	34,77	33,27	31,67	28,83
Balestra	34,22	33,51	26,69	30,42
Compound	88,36	85,07	82,03	75,70

Esperimenti su maiali, eseguiti in modo da non colpire ossa hanno indicato che con l'arco lungo e punte da caccia o da guerra si ottengono penetrazioni di 25-30 cm, con perforazioni massime fino a 60 cm (punta piatta a lama tagliente). Con l'arco compound la penetrazione è salita a 40 cm in media con un massimo di 82 cm e alcuni colpi trapassanti. Con la balestra, usando frecce di 30 grammi, la penetrazione si è attestata sui 15-20 cm

Come calcolare l'energia di un arco

I cronografi, attualmente disponibili a basso prezzo, consentono una misurazione assolutamente precisa della velocità di una freccia scoccata un arco. Per chi si accontenta di una minor precisione e di dati orientativi, non è male conoscere i metodi usati un tempo.

Nell'antichità si usava sistemare gli arcieri in un grande cerchio, ad una cinquantina di passi l'uno dall'altro; il primo lanciava una freccia poco sopra la testa del secondo; questo, quando sentiva il sibilo della freccia, scoccava la propria, e così via uno dopo l'altro, fino a che era trascorso un certo tempo misurabile con la clessidra o con altro mezzo. A questo punto, in base al numero dei lanci e alla distanza complessiva percorsa dalle frecce, si poteva calcolare la velocità media delle frecce usate dagli arcieri.

Una miglior precisione si ottenne con l'invenzione del cronometro in grado di misurare frazioni di secondo. L'arciere, ad un comando sonoro, scocca la freccia verso un bersaglio posto ad una cinquantina di metri, così che la traiettoria sia piuttosto tesa. Il cronometrista vicino a lui, e che non vede né tiratore né bersaglio, registra il comando di tiro e il suono dell'impatto della freccia e misura così l'intervallo di tempo fra di essi. L'esperimento viene ripetuto più volte. La velocità media in m/s delle frecce tirate con quell'arco sarà data dalla formula

$$V_m = \frac{t_{1+t_2+\cdots t_n}}{n} - n \cdot \frac{S}{360}$$

in cui t indica i vari valori misurati, n il numero delle prove effettuate ed S la distanza tra tiratore e bersaglio. La formula tiene conto del tempo occorrente al suono dell'impatto per raggiungere il cronometrista.

Una misurazione esatta si ottenne infine con il pendolo balistico e poi con i cronografi elettrici.

La velocità della freccia può essere calcolata anche in base all'energia dell'arco e al peso della freccia.

L'energia potenziale a cui l'arco viene "caricato" tendendolo per scoccare la freccia è data dalla formula

$$E_{pot} = \frac{L \cdot F}{2}$$

in cui L è misura in metri di quanto la freccia viene tirata verso il tiratore nel momento in cui l'arco viene teso ed F è la forza in kg occorrente per tendere l'arco di questa misura.

L'energia cinetica della freccia di un dato peso m sarà data quindi da

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Se tutta l'energia potenziale potesse essere trasformata in energia cinetica, si avrebbe

$$\frac{L \cdot F}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

da cui

$$V_0 = \sqrt[2]{\frac{L \cdot F}{m}}$$

Esempio:

sia l'allungo della freccia di 50 cm, la forza occorrente di 20 kg (oppure 20·9,81 Newton) e il peso della freccia di 25 g. La velocità teorica sarà

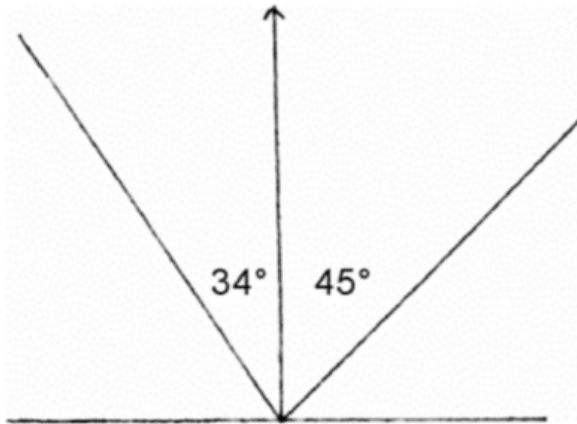
$$V_0 = \sqrt[2]{\frac{0{,}5 \cdot 20 \cdot 9{,}81}{0{,}025}} = 62.6\ m/s$$

La velocità effettiva sarà un po' minore perché ogni macchina meccanica consuma energia nel suo stesso movimento (vibrazioni, movimento della corda e delle estremità dell'arco, resistenza dell'aria). Per questo motivo essa non può essere utilizzata per la balestra in cui le resistenze interne possono raggiungere il 30%.

Va da sé che queste formule consentono di calcolare con facilità il grado di efficienza, il rendimento dell'arco, quando si conosce la velocità effettiva della freccia.

TRAIETTORIE DI SICUREZZA NEI POLIGONI

I poligono all'aperto sono i più rispondenti ai fini addestrativi, in quanto consentono l'impiego delle armi in condizioni realistiche, sia da postazione fissa, sia in movimento (con brutta espressione chiamato *tiro dinamico* invece che *tiro da combattimento).* Le migliori condizioni di sicurezza sono riportate nei regolamenti militari, che prescrivono lo sgombero e la sorveglianza di un'area grosso modo triangolare chiamata *settore di sicurezza.*

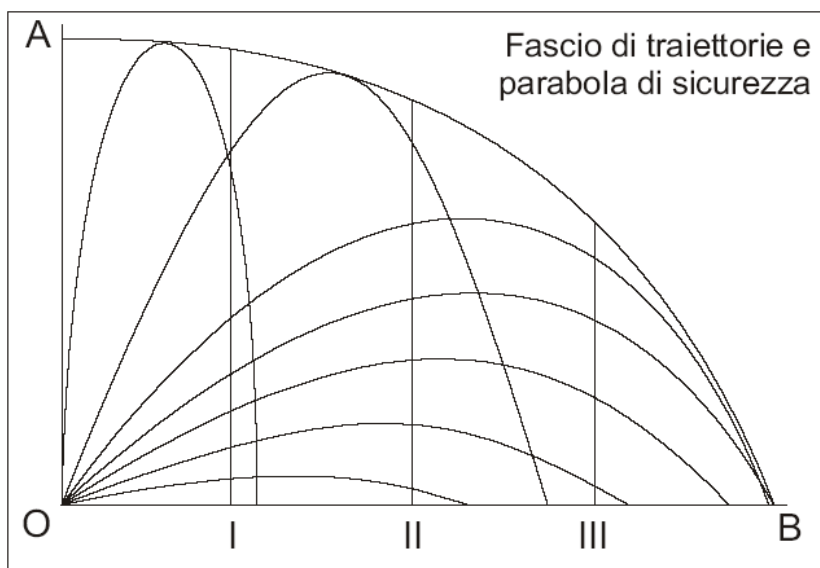
Settore di sicurezza

Il settore di sicurezza ha un'ampiezza angolare di 34° a sinistra e 45° a destra della linea di tiro. La asimmetricità si spiega con empiriche considerazioni sul rimbalzo dei proiettili sul terreno, valevoli solo per le armi militari. Queste di regola dispongono di rigature destrorse, che accentuano il rimbalzo a destra. Il settore di sicurezza così calcolato presuppone che i tiratori siano sistemati in maniera da poter sparare solo verso il bersaglio. Se viene meno

questo presupposto il settore può ampliarsi fino a divenire un semicerchio o, persino, un intero cerchio.

Il raggio di questo settore, cioè la profondità di sgombero del terreno, la zona in cui non si dovranno trovare assolutamente persone durante il tiro, è compreso nella cosiddetta parabola di sicurezza.

Fascio di traiettorie e parabola di sicurezza

Se per una data velocità iniziale del proiettile si varia l'angolo di tiro, si ottiene un fascio di traiettorie contenute entro una "curva d'inviluppo" o parabola di sicurezza.

Al di fuori di questa "parabola di sicurezza" nessun bersaglio può essere colpito con un proiettile che abbia la velocità iniziale data. Ogni punto della parabola può essere colpito da una sola traiettoria; tutti i bersagli all'interno della parabola possono essere colpiti da due diverse traiettorie: la prima con un angolo di tiro inferiore a 45°, la seconda con un tiro avente angolo superiore 45°. La somma di questi due angoli dà sempre 90 gradi.

La parabola di sicurezza non è di alcuna utilità quando si spara in pianura perché comunque bisogna che il terreno sia sgombero da persone fino alla gittata massima. Essa serve invece quando si deve stabilire se un ostacolo naturale (ad esempio un monte) o arti-

ficiale (muro o argine del poligono) posto sulla direzione di tiro, a distanza minore della gittata massima, sia idoneo ad impedire che i proiettili cadano oltre l'ostacolo stesso, tenuto conto del maggior angolo di tiro realizzabile dalla postazione.

I militari, che impiegano munizionamento particolare (perforante, incendiario, ecc.), incrementano tali misure con un ulteriore franco di sicurezza. In presenza di un parapalle naturale di notevole entità, come un costone roccioso non percorribile, può essere adottato un *box limitatore* come quello in figura, in grado di intercettare le traiettorie alte e di restringere (ma con prudenza) l'ampiezza del settore di sgombero orizzontale. A tal fine occorre ricordare che non è sufficiente, ad esempio, che un ostacolo limiti il tiro verso il lato sinistro, ma si deve anche prevedere la possibilità del rimbalzo verso destra del proiettile che colpisca detto ostacolo. In ogni caso, l'ampiezza di un poligono di tiro aperto mantiene sempre dimensioni proibitive.

Vediamo come calcolare la "parabola di sicurezza". Facciamo riferimento alla figura precedente.

Le gittate massime possono essere così riassunte:

Calibro	m
.32 e 380ACP	900
22 l.r.	1.300
9 mm para	1.700
8 mm x 57	3.500
30/06 e affini	5.000

Con un sistema estremamente semplificato si può tracciare la parabola per tratti rettilinei, stimando le ordinate come segue:

OA 65% di OB
I 63% “
II 55% “
III 40% “

Volendo eseguire il calcolo in modo più generale e senza avere grandi conoscenze balistiche, si può seguire un metodo semplificato che consente di ottenere un risultato accettabile per ogni tipo di proiettile. Come si vede dalla figura, il punto B della parabola cor-

risponde alla gittata massima del proiettile; il punto A corrisponde alla massima altezza raggiungibile dal proiettile sparato verticalmente. Queste due misure possono essere calcolate con formule approssimative. Ecco i vari passi:

1) Calcolare la massima altezza raggiungibile di proiettile in verticale mediante la formula

$$Y_{max} = \sqrt[2]{\frac{P \cdot V}{Cal}} \cdot costante$$

in cui P è il peso in grammi, V la velocità in m/s, Cal. il calibro in mm e in cui la costante varia da 220 per proiettili appuntiti a 200 per proiettili per pistola, a 185 per proiettili a punta tonda o palle sferiche.

2) Moltiplicare il valore così trovato per 1,45 e si ottiene la gittata massima OB. Naturalmente se si dispone della misura della gittata massima, calcolata da un balistico o misurata sperimentalmente, si utilizzerà questa (l'altezza massima in verticale sarà pari a circa il 70% della gittata massima).

Abbiamo così già trovato il punto iniziale e il punto finale della parabola di sicurezza.

Se poi abbiamo la curiosità di conoscere anche l'ordinata al vertice della traiettoria di massima gittata (cioè l'altezza massima raggiunta dal proiettile sparato con un angolo φ di circa 35°-40°), calcoliamo prima il tempo di volo con la formula

$$T = \frac{1}{2} \sqrt[2]{X \cdot tang\varphi}$$

assumendo per φ il valore di 35-40° l'ordinata sarà data da

$$Y_v = 1{,}25 \cdot T^2$$

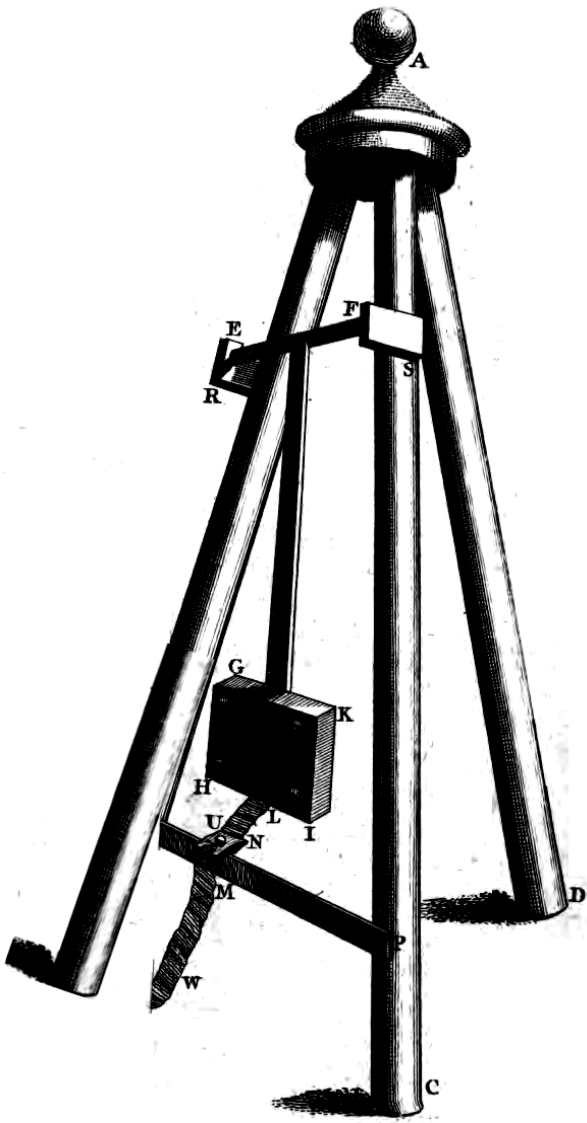
mentre l'ascissa (ciò sua distanza dal punto O sull'asse OB) sarà pari a OB • 0,55

Esempio: sia il proiettile 9 mm para, con velocità iniziale di 330 m/s, peso 8,5 g e costante = 200. L'altezza massima in verticale sarà pari a 1176 metri e la gittata massima pari a 1700 metri. Il tempo di volo sarà di

$$T = \frac{1}{2} \cdot \sqrt[2]{1700 \cdot tang40°} = 18{,}8''$$

L'ordinata sarà perciò circa 440 metri e l'ascissa 935 metri.

3) Per tracciare la parabola di sicurezza dobbiamo avere qualche suo punto intermedio. Per ottenerli dividiamo il tratto OB in quattro parti eguali. Dai tre punti intermedi eleviamo la perpendicolare di lunghezza tale che la nr. I sia eguale al 98% di OA, la nr. II allo 85%, la nr. III al 55%. La curva che collega A con B passando per questi punti sarà la parabola di sicurezza. Se per nostra tranquillità aumentiamo i valori sopra trovati per OA e OB di un 10% si potrà avere una ragionevole certezza che i proiettili non finiranno al di fuori di essa.

Se ora volessimo stabilire se un collina alta 800 metri rispetto al livello della postazione di tiro e con la vetta posta a 600 metri, in linea orizzontale, dal tiratore, sia idonea a proteggere il territorio posto oltre di essa, sarà sufficiente riportare sul disegno in scala la distanza di 600 metri a partire da O e dal punto così trovato elevare la perpendicolare corrispondente a 800 m. Se si rimane al di sotto della parabola di sicurezza, vuol dire che la collina è tropo bassa; se si va al di sopra vuol dire che nessun proiettile dell'arma presa in considerazione potrà oltrepassarla.

Il pendolo di Benjamin Robins, 1741

IL PENDOLO BALISTICO

Per stabilire al velocità di un proiettile non vi è strumento migliore di un cronografo, il cui acquisto è però giustificato solo per chi, come perito balistico o ricaricatore di cartucce, deve ricorrervi di frequente.

Chi invece ha bisogno solo occasionalmente di calcolare la velocità di un proiettile, può ricorrere al vecchio metodo del pendolo balistico, in grado di fornire dati più che attendibili senza alcuna spesa (personalmente ho usato un pendolo fatto con una patata per controllare la velocità di pallini ad aria compressa, e funzionava benissimo).

L'idea di usare un pendolo per determinare la velocità di un proiettile risale a Cassini Junior (1707) e lo strumento derivatone, detto pedolo balistico, venne perfezionato da successivi studiosi (B. Robins, Didion, Morin, Piobert) ed è stato l'unico ad essere impiegato fino a circa un secolo fa, contribuendo a porre le basi della balistica moderna.

Il principio teorico alla base del pendolo balistico è estremamente semplice: l'arma viene puntata contro una massa pendolare, costituita da materiale atto a trattenere il proiettile ed a realizzare un urto anelastico. Allo sparo quindi il proiettile si conficca nella massa pendolare trasmettendole un impulso; dal teorema della conservazione della quantità di moto e dalle leggi del moto pendolare si deduce la quantità di moto della massa pendolare dall'ampiezza della sua oscillazione, e quindi la velocità del proiettile.

Sia infatti P il peso della massa pendolare e p il peso del proiettile; P+p sarà il peso del pendolo con il proiettile infisso; si poi V la velocità acquisita dal pendolo e v la velocità del proiettile prima dell'urto.

Sarà
$p \cdot v = (P+p) \cdot V$
da cui
$V = (p \cdot v) / (P+p)$
Sotto l'influenza dell'urto il pendolo acquista una velocità e quindi una forza viva E, espressa dalla formula

$$E = \frac{(P+p) \cdot V^2}{2 \cdot 9{,}81}$$

che lo fa alzare di un certo spazio h ove si trasforma in energia potenziale Ep

$$Ep = (P+p) \cdot h$$

Siccome E =Ep, si possono fondere le due espressioni e ricavare che

$$V = \sqrt[2]{1 \cdot 9{,}81 \cdot h}$$

che è la formula relativa alla caduta dei gravi.
Questo valore dovrà corrispondere a quello derivato dall'impulso e quindi si potrà scrivere:

$$\frac{p \cdot v}{P+p} = \sqrt[2]{2 \cdot 9{,}81 \cdot h}$$

da cui

$$V = \frac{P+p}{p} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot 9{,}81 \cdot h}$$

L'altezza h non è misurabile direttamente, ma può essere espressa trigonometricamente in funzione della lunghezza *l* del pendolo dell'ampiezza dell' angolo dell'oscillazione secondo la formula

$$h = l \cdot (1 - cos\alpha)$$

per cui, in definitiva, la formula da applicare è la seguente

$$V = \frac{P+p}{p} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot 9{,}81 \cdot L \cdot (1 - cos\alpha)}$$

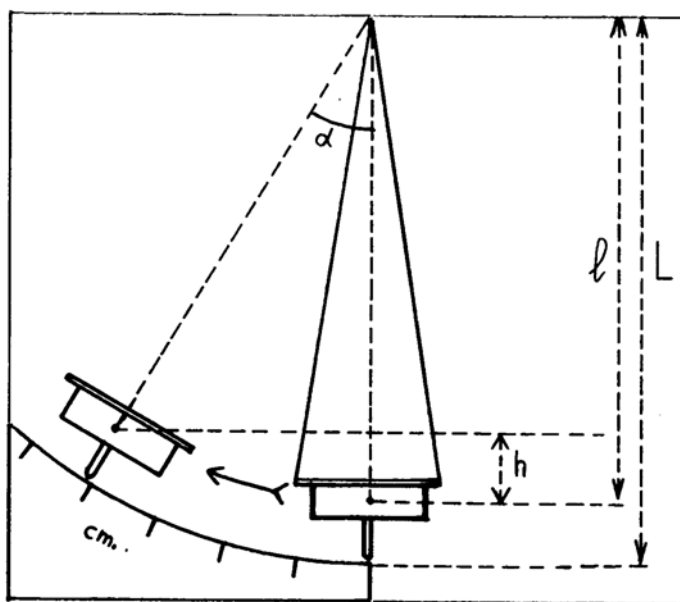
in cui l'unica incognita è data dall'angolo alfa, da misurarsi di volta in volta.
A sua volta, la lunghezza *l* del pendolo non può essere misurata direttamente poiché ciò che interessa non è la lunghezza effettiva, ma quella riferita al centro di oscillazione del pendolo composto, che si usa in pratica. Essa quindi deve essere determinata indirettamente dalle leggi fisiche del moto pendolare: si determina con un cronometro la durata D in secondi di una oscillazione, contando ad

esempio il numero delle oscillazioni compiute in un minuto primo, e da esso si ricava la lunghezza in metri secondo la formula

$$l = 0{,}248 \cdot D^2$$

Invece di misurare l'ampiezza dell'angolo di oscillazione del pendolo, può essere più semplice misurare l'ampiezza s dell'arco percorso da un suo punto e da essa risalire all'angolo alfa mediante la formula

$$\propto = \frac{360 \cdot s}{6{,}28 \cdot L}$$

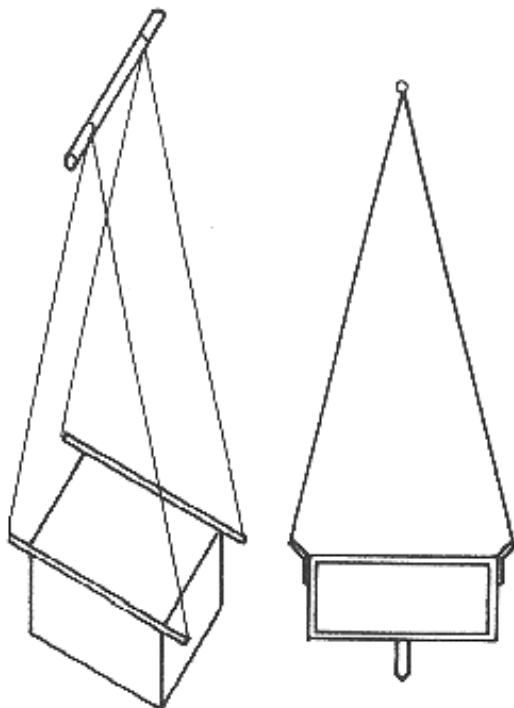
ove L in questo caso rappresenta la distanza effettiva tra il punto attorno a cui oscilla il pendolo e il punto che traccia l'arco.

<u>Realizzazione pratica</u>

Vediamo ora come si possa costruire praticamente il pendolo.

Esso deve rispondere ai seguenti requisiti:

a) deve avere una lunghezza tale da rendere sufficiente lenta l'oscillazione; la lunghezza L dovrà quindi essere di 1 - 1,5 metri.

b) la massa pendolare deve avere un peso tale non compiere , in relazione al proiettile sparato, una oscillazione superiore a 20° e deve essere sospesa in modo da poter oscillare in un solo piano senza sbandamenti, rotazioni ed oscillazioni parassite. In linea di

massima dovrà avere un peso, in grammi, pari al prodotto della velocità del proiettile in m/s per il suo peso in grammi. Quindi dovrà pesare circa kg 1 per il cal. 22, kg 1,5 per il cal. 7,65 e il cal. 9, e così via.

c) Il blocco deve essere conformato in modo che il proiettile vi penetri e vi resti infisso; per alcuni proiettili sarà sufficiente un blocco di legno, per altri occorrerà provvedere, oltre al legno, degli strati di piombo od altro metallo che impediscano la perforazione completa. In pratica andrà bene qualsiasi scatola metallica, a forma di parallelepipedo o di cilindro, in cui sistemare strati di legno, sabbia, piombo, e sospeso mediante quattro fili sottili e non elastici, riuniti a due a due con anelli , ad un qualunque sostegno stabile.

Al di sotto della scatola, sul prolungamento dell'asse perpendicolare del pendolo, verrà fissato un indice scorrente lungo un arco munito di una scala metrica, come indicato in figura. Per misurare lo spostamento massimo dell'indice per effetto dello sparo, bisognerà studiare un sistema qualunque, dal fine pennello all'estremità

dell'indice, al filo trascinato da esso, alla polvere sfiorata da un "baffo", che non offra resistenza al moto.

Uso del pendolo balistico

Per prima cosa bisogna pesare il blocco con precisione. Poi occorre sparare contro il blocco, da una distanza che eviti l'influenza del gas di sparo (oppure attraverso un diaframma forato) e cercando di colpire il centro del blocco per evitare oscillazioni irregolari. Occorre ricordare che ad ogni sparo successivo al primo, il peso del blocco deve essere aumentato del peso dei precedenti proiettili infissi in esso e che va tenuto conto di perdite di materiale.

Dopo aver sparato si legge quale è stato lo spostamento massimo del pendolo e da esso si ricava la velocità del proiettile. La lettura deve essere fatta con una certa precisione perché, ad esempio, con un pendolo di 130 cm di lunghezza, un errore di lettura di 4 mm (10' di grado), comporta un errore nel calcolo di 5-6 m/s.

Esempio

Sia da misurare la velocità di un proiettile cal. 9 corto e si abbia

Peso del pendolo P, g. 1500

Peso del proiettile p, g. 6

Lunghezza teorica del pendolo l , m 1,20

Lunghezza totale del pendolo L, cm 130

Arco percorso, cm 40

Applicando l'ultima formula troviamo l'angolo alfa

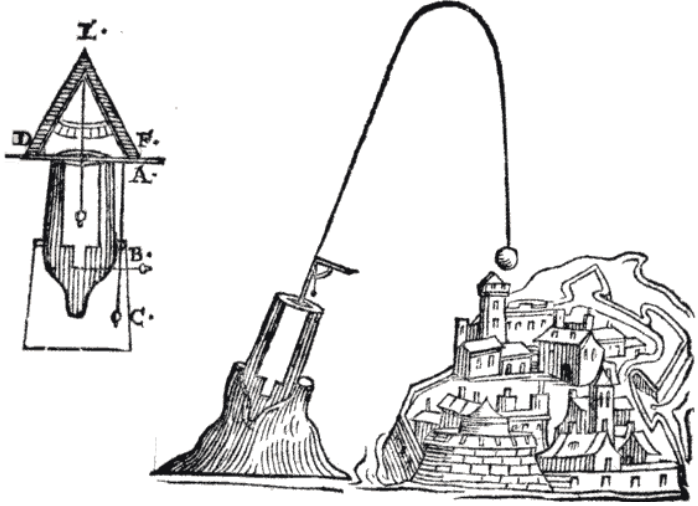
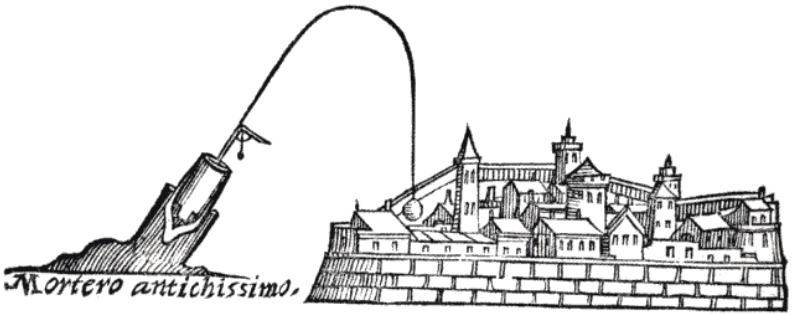
$$\alpha = \frac{360 \cdot 40}{6{,}28 \cdot 130} = 17°38'$$

e quindi

$$V = \frac{1500 + 6}{6} \cdot \sqrt[2]{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}20 \cdot (1 - cos 17°38'} = 264\, m/s$$

Se si è sparato contro il pendolo da una distanza di metri 1,5, e tenendo conto delle resistenze interne del sistema, si otterrà un valore abbastanza esatto della velocità iniziale aumentando quello sopra trovato dell' 1%.

Il metodo può essere usato anche per armi ad aria compressa usando un pezzo di sapone da bucato di circa 150/200 g e un pendolo lungo circa un metro. Occorre sempre fare più prove.

Mortero antichissimo.
L.
D
F.
A.
B.
C.

CALCOLO DELLE PROBABILITÀ DI COLPIRE UN BERSAGLIO

Il calcolo delle probabilità consente di calcolare quante probabilità vi sono che un evento possibile, ma non certo, si verifichi.

La probabilità P che un evento si verifichi è data dal rapporto tra eventi favorevoli ed eventi possibili: la probabilità che esca il sei lanciando un dado una sola volta è data da

$$P = 1/6 = 0,166$$

dal che si ricava che il valore di P non può mai essere superiore ad uno, poiché in tal caso si ha la certezza che l'evento si verifichi.

La probabilità che l'evento non si verifichi sarà evidentemente data da 1-P

La probabilità che si verifichino contemporaneamente un certo numero di eventi indipendenti l'uno dall'altro è pari al prodotto della probabilità di ciascun evento. Se la probabilità di colpire un bersaglio è P = 0,1 la probabilità di colpirlo due volte di seguito sarà

$$P \cdot P = 0,01$$

Viceversa la probabilità di non colpirlo due volte di seguito sarà data da

$$P = (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,1) = 0,89$$

e così via.

Diverso è naturalmente il problema di stabilire quante probabilità si avrebbero di colpire il bersaglio almeno una volta sparando 5 colpi. Passaggi un po' complicati portano alla formula

$$P = 1 - (1 - 0,1)^5 = 0,4$$

Se la probabilità di colpire varia ad ogni colpo, ad esempio da 0,1 a 0,15 a 0,2, ecc. (si pensi ad un bersaglio che si avvicina sempre più al tiratore!), la formula diventa

$$P = 1 - (1 - 01) \cdot (1 - 0,15) \cdot (1 - 2) ....$$

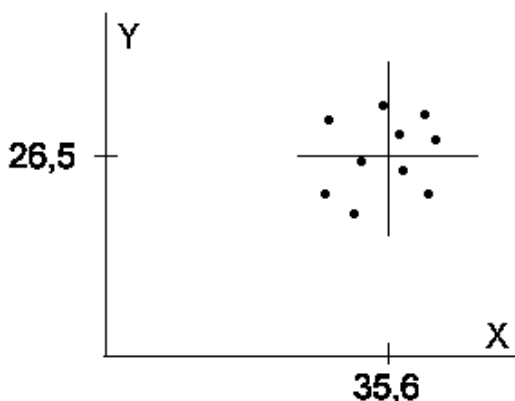
Per eseguire calcoli di questo tipo occorre perciò apprendere come calcolare il valore di P, cosa abbastanza facile.

Ogni arma a palla, anche se provata al banco, non è in grado di concentrare i proiettili in un unico punto, ma li disperde attorno al punto mirato entro un'area di dispersione che possiamo assumere come circolare. Se il centro del bersaglio e il centro del circolo di dispersione non coincidono, ciò significa che vi è un difetto da correggere nel sistema di puntamento.

La dispersione naturalmente aumenta, in modo poco più che proporzionale, con l'aumentare della distanza dell'arma dal bersaglio; aumenta inoltre quando al fattore meccanico si aggiunge quello umano: ogni tiratore, a seconda della sua abilità, del suo stato psicofisico, a seconda delle circostanze ambientali, concentrerà più o meno i colpi sul bersaglio.

Questa dispersione del tiro può essere valutata con metodi statistici.

Di norma lo studio della dispersione del tiro con artiglierie sul terreno, e quindi rispetto a bersagli orizzontali, in cui i tiri presentano una dispersione ellittica, essendo la dispersione maggiore in lunghezza che in larghezza. Noi invece ci vogliamo occupare solo del tiro contro bersagli verticali ove la dispersione, come si è detto, può ritenersi circolare e quindi sarà sufficiente, per i successivi calcoli, di individuare lo scarto quadratico medio dei singoli proiettili rispetto al centro della rosata.

Supponiamo di avere sparato dieci colpi contro un bersaglio e di aver ottenuto la rosata di figura 1.

Per prima cosa occorre individuare il centro medio della rosata. Ciò si può ottenere in modo empirico tracciando prima un asse orizzontale in modo che vi siano metà dei colpi sopra e metà dei colpi sotto di esso, e poi un asse perpendicolare al primo che lasci metà dei colpi a sinistra e metà dei colpi a destra: il punto d'incontro rappresenta il centro ideale della rosata.

Per calcolare ora lo scarto quadratico medio, vale a dire la media dei quadrati delle deviazioni di ogni singolo colpo dal centro medio, occorre misurare la distanza di ogni colpo dal centro medio ed elevare il valore trovato al quadrato. La radice quadrata della media dei valori così trovati ci darà il valore M ricercato.

Invece di misurare la distanza dal centro ideale di ogni colpo, si può, più semplicemente, come nell'esempio di figura 1, calcolare lo scarto di ogni valore di X e di Y rispetto al valore X-Y del centro medio e poi estrarre la radice quadrata della somma dei loro quadrati, con normale applicazione del teorema di Pitagora.

Nell'esempio si avrebbe che le coordinate del centro medio sono X = 35,6 e Y = 26,5 e che le coordinate dei singoli colpi, la differenza D dal valore medio, i loro quadrati, avrebbero i seguenti valori:

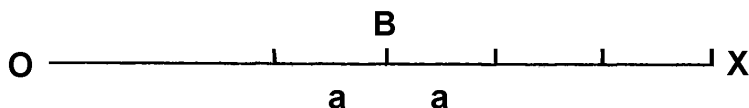
X	D	D^2	Y	D	D^2
32	3,6	12,96	19	7,5	56,25
41	5,4	29,16	21	5,5	30,25
33	2,6	6,76	26	0,5	0,25
42	6,4	40,96	28	1,5	2,25
28	7,6	57,76	31	4,5	20,25
36	0,4	0,16	33	6,5	42,25
28	7,6	57,76	22	4,5	20,25
37	1,4	1,96	24	2,5	6,25
41	5,4	29,16	32	5,5	30,25
38	2,4	5,76	29	2,5	6,25
356		**242,4**	**265**		**214,5**

da cui si ricava direttamente lo scarto quadratico medio per X = 24,24 e per Y = 21,45.

Il valore di M sarà infatti dato dalla radice quadrata della somma

$$\sqrt[2]{(24{,}24 + 21{,}45)} = 6{,}76 = 6{,}76\ cm$$

Il valore così trovato consente di determinare il parametro più importante di tutta la teoria del tiro e cioè lo scarto probabile S.

Per comprenderne il significato si pensi ad un'arma che spara una serie di colpi dal punto O in direzione OX

Il punto medio di caduta sia B; se si prendono in esame due strisce di terreno prima e dopo il punto B e se *a* è piccolo, in esse si riscontrano pochi colpi e quindi la probabilità di colpire quella striscia è piccola e la maggior parte dei colpi cadrà fuori di essa. Per un certo valore di *a* vi saranno tanti colpi fuori della striscia quanti entro di essa. A questo punto la probabilità che un proiettile cada entro la striscia è pari a 0,5 e cioè ad un colpo su due. Questo valore *a* corrisponde al parametro S e il valore 2S indica la larghezza di una striscia di terreno posta simmetricamente a lato del punto medio e che ricomprende la metà dei colpi sparati che si trovano più vicini al punto medio, la metà dei punti migliori.

Se il ragionamento, invece che alla sola dispersione longitudinale sul terreno viene riferito alla dispersione in altezza e in larghezza su di un bersaglio verticale, si otterrà che se nella larghezza 2S cade il 50% dei colpi, in un quadrato ne cadrà lo 0,5x 0,5 e cioè lo 0,25%; in un cerchio infine avente il raggio S, ricadrà il 20% circa dei colpi (il cerchio iscritto in un quadrato ha una superficie inferiore di circa 1/5 a quella del quadrato stesso).

Il valore di S che, nel caso sia calcolato per una dispersione unidimesionale, è dato dalla formula S = 0,6745*M, nel caso di una superficie è dato dalla formula S = 0,4769*M.

Nel caso della figura 1 si avrebbe perciò S = 6,76 x 0.4769 = 3,22 cm

Il calcolo della distribuzione dei colpi all'interno di un cerchio, stabilito il valore di S, è un po' complicato in quanto occorre far riferimento ad un valore di P dato dalla funzione

$$P = 1 - e^{-k^2 \cdot 0{,}476936}$$

in cui K = Raggio/S ed e = 2,718.

Più semplicemente il valore di P in funzione del valore K può essere ricavato dalla seguente tabella.

K	P	K	P	K	P
0,1	0,002	2,1	0,633	4,1	0,978
0,2	0,009	2,2	0,667	4,2	0,982
0,3	0,020	2,3	0,700	4,3	0,985
0,4	0,036	2,4	0,730	4,4	0,988
0,5	0,056	2,5	0,759	4,5	0,990
0,6	0,079	2,6	0,785	4,6	0,9919
0,7	0,106	2,7	0,810	4,7	0,9934
0,8	0,136	2,8	0,832	4,8	0,9947
0,9	0,168	2,9	0,852	4,9	0,9958
1	0,203	3	0,871	5	0,9966
1,1	0,240	3,1	0,888	5,1	0,9973
1,2	0,279	3,2	0,903	5,2	0,9979
1,3	0,319	3,3	0,916	5,3	0,9983
1,4	0,360	3,4	0,928	5,4	0,9987
1,5	0,401	3,5	0,938	5,5	0,9990
1,6	0,441	3,6	0,948	5,6	0,9992
1,7	0,482	3,7	0,956	5,7	0,9994
1,8	0,521	3,8	0,963	5,8	0,9995
1,9	0,560	3,9	0,969	5,9	0,9996
2	0,597	4	0,974	6	0,9997

Dalla tabella si vede che per R = S e quindi K = 1, un cerchio con raggio eguale ad S contiene il 20,3% dei colpi; un cerchio con raggio pari a 2S, e quindi con K = 2, il 59,7% dei colpi, e così via.

Per contro dalla tabella si legge che il cerchio avente una probabilità del 50% di essere colpito, si ottiene moltiplicando S per un valore K di circa 1,75 (che si ottiene mediante interpolazione tra 0,482 e 0,521) e quello con probabilità del 75% moltiplicandolo per 2,47.

Si potranno quindi risolvere i seguenti problemi relativi a bersagli circolari.

1) Quale raggio ha il cerchio che contiene il 50% e il 75% dei colpi, data la rosata di figura 1?

Soluzione:

$$R(50) = 1{,}7456 \cdot S = 1{,}4756 \cdot 3{,}22 = 5{,}62\ cm$$

$$R(75) = 2{,}4686 \cdot S = 2{,}4686 \cdot 3{,}22 = 7{,}95\ cm$$

2) Con una pistola sono stati sparati numerosi colpi contro un bersaglio con 10 zone (anelli) aventi raggio 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 36, 40 cm e si è contato che entro il cerchio di 20 cm è caduto circa il 60% dei colpi. Quale è il valore di S e quale percentuale di colpi è caduta nei singoli cerchi?

Soluzione:

Dalla tabella si vede che per P = 60 si ha K = 2; il valore di S sarà dato dal rapporto R/K e quindi da 20/2 = 10 cm Si procederà poi al calcolo di K per i vari raggi e da esso a quello delle relative percentuali; le percentuali dei singoli anelli si otterranno poi per differenza.

3) Nel problema n. 2 si voglia stabilire la percentuale di colpi in un determinato anello del bersaglio.

Soluzione:

Sarà sufficiente determinare la percentuale relativa ai due cerchi che delimitano l'anello e fare la differenza. Se, ad esempio, il cerchio interno ha raggio R = 3S e quello esterno R = 4S, si ricava che la percentuale sarà data da 97,4% - 81,7% = 10,3%.

Se occorre conoscere la percentuale di colpi in un solo settore del cerchio o dell'anello, sarà sufficiente dividere i risultati trovati per il rapporto tra cerchio e settore; se, ad esempio, il settore è sotteso da un arco di 36º la percentuale dei colpi ad esso relativa sarà di 1/10 di quella calcolata per il cerchio di 360º.

4) Se S = 4 cm quale percentuale di colpi contiene un cerchio con raggio 10 cm ?

Soluzione:

K sarà eguale a 10/4 e cioè 2,5 da cui si ricava P = 0,75%, vale a dire che un colpo su 4 uscirà dal cerchio.

Si osserva in proposito che conoscendo la percentuale di colpi all'interno di un determinato cerchio, si può direttamente calcolare S senza dover misurare i singoli scarti di ogni colpo; dalla percentuale infatti si risale a K e il rapporto R/K ci darà il valore di S. Ancora più semplicemente si potrà tracciare il cerchio contenente il 20% dei colpi per ottenere R = S.

In molti casi però il tiratore si trova di fronte non figure geometriche quali il bersaglio da tiro a segno, ma figure irregolari e a-

simmetriche, come la sagoma di un veicolo o di un uomo, rispetto a cui non è facile eseguire il calcolo matematico sopra esposto.

In tali casi si ricorre alla cosiddetta «rete di dispersione di Gauss» illustrata in figura 2,

4 3 2 1 0 1 2 3 4 5

5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5

						1	1	1	1	1	1	1	1						
				1	1	1	2	3	3	3	3	2	1	1	1				
			1	1	2	4	5	7	8	8	7	5	4	2	1	1			
		1	1	3	5	8	12	15	16	16	15	12	8	5	3	1	1		
	1	1	3	6	10	15	23	29	32	32	29	23	15	10	6	3	1	1	
	1	2	5	10	18	29	40	50	56	56	50	40	29	18	10	5	2	1	
1	1	4	8	16	29	45	63	79	89	89	79	63	45	29	16	8	4	1	1
1	2	5	5	23	40	63	89	111	124	124	111	89	63	40	23	5	5	2	1
1	3	7	15	29	50	79	111	139	156	156	139	111	79	50	29	15	7	3	1
1	3	5	16	32	56	89	124	156	174	174	156	124	89	56	32	16	5	3	1
1	3	5	16	32	56	89	124	156	174	174	156	124	89	56	32	16	5	3	1
1	3	7	15	29	50	79	111	139	156	156	139	111	79	50	29	15	7	3	1
1	2	5	5	23	40	63	89	111	124	124	111	89	63	40	23	5	5	2	1
1	1	4	8	16	29	45	63	79	89	89	79	63	45	29	16	8	4	1	1
	1	2	5	10	18	29	40	50	56	56	50	40	29	18	10	5	2	1	
	1	1	3	6	10	15	23	29	32	32	29	23	15	10	6	3	1	1	
		1	1	3	5	8	12	15	16	16	15	12	8	5	3	1	1		
			1	1	2	4	5	7	8	8	7	5	4	2	1	1			
				1	1	1	2	3	3	3	3	2	1	1	1				
						1	1	1	1	1	1	1	1						

Figura 2

la quale consiste di un quadrato di lato pari a 10S, suddiviso in quadratini aventi lato 0,5S, per ciascuno dei quali è calcolata la percentuale di probabilità di colpirlo (i valori indicati in ogni quadratino vanno divisi per 100!). Se la probabilità di colpire una striscia orizzontale o verticale, non limitata in lunghezza e larga 0,5S, è pari, ad esempio al 13,2% (vedi strisce centrali), la probabilità di colpire il quadrato formato dal loro incrocio sarà dato, secondo le regole del calcolo della probabilità nell'ipotesi di più eventi indipendenti, da 13,2 · 13.2 = 1,74%, come per l'appunto sta scritto nei quadratini centrali.

Per calcolare la probabilità di colpire un determinato bersaglio, sarà quindi sufficiente disegnare la sagome del bersaglio nella stessa scala usata per la rete di Gauss (in figura, usando carta millimetrata, 1 cm = 0,5S) e poi sovrapporre la sagoma facendo coincidere il suo centro con il centro della rete. La somma delle percentuali dei quadratini coperti darà la percentuale di probabilità di colpire quel bersaglio. Se la sagoma copre un quadratino solo in parte, il valore di esso verrà ridotto percentualmente.

Se poi la sagoma viene spostata di un lato di un certo numero di quadratini, si otterrà la percentuale di probabilità per il caso in cui il centro medio della rosata sia spostato rispetto al centro del bersaglio. Per conoscere infine verso quale punto del bersaglio irregolare occorre mirare per ottenere la massima probabilità di colpirlo, bisognerà procedere per tentativi, spostando la sagoma sulla rete fino ad ottenere il valore massimo di probabilità.

Il metodo esposto consente di risolvere eleganti problemi di un certo interesse per la balistica giudiziaria (anche se i giudici hanno bisogno di certezze e non di probabilità).

Accade abbastanza spesso che il feritore di una persona affermi di aver sparato ai piedi della stessa oppure di lato e di averla colpita in punti vitali per sbaglio; il calcolo delle probabilità consente di valutare l'attendibilità della dichiarazione, specialmente quando l'arma presenta una notevole dispersione dei colpi. In alcuni casi si potrebbe tenere conto anche della abilità nel tiro dello sparatore, ma bisognerebbe avere la certezza che egli durante le prove di tiro spari effettivamente secondo le sue possibilità.

Per risolvere il quesito si procederà quindi a determinare il valore di S dell'arma (o del tiratore) alla distanza del caso e si abbia, ad esempio, che a 50 metri S = 30 cm

Allora ogni lato di un quadratino corrisponderà a 15 cm e, per una sagoma umana di normale corporatura, si potrà disegnare il contorno come in figura. Se lo sparatore afferma di aver sparato ai piedi della vittima, la sagoma andrà sovrapposta sulla rete il modo che il centro della rete si trovi in corrispondenza dei piedi. La probabilità di colpire il corpo al tronco sarà data dalla somma dei valori dei quadratini coperti dal tronco e cioè 0,32 + 0,32 + 0,16 + 0,16 + 0,08 + 0,08 + 0,03 + 0,03 .... ecc. con i quadratini coperti parzialmente, ottenendosi una percentuale di circa 1,4%; vale a

dire che su 100 colpi sparati in quelle condizioni solo 1 o 2 potevano colpire il tronco nonostante che lo sparatore avesse mirato ai piedi. Quindi la versione dello sparatore è appena accettabile. Se invece la vittima fosse stata raggiunta al capo, la probabilità di colpirlo scenderebbe a meno dello 0,01%, decisamente inverosimile.

La validità del metodo trova conferma eseguendo il calcolo in via puramente matematica. A tal fine inseriamo la sagoma, come in figura 3, in un settore di anello circolare, usando una scala per cui sia S=30 cm Il valore ricavato è anche in questo caso pari allo 1,4%.

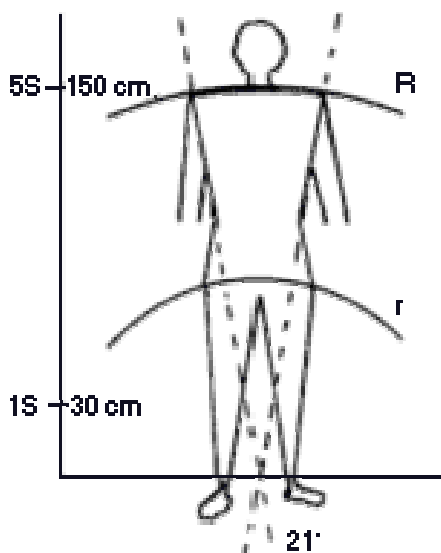



Figura 3

Raggio R = 150 cm
Raggio r = 75 cm
KR = 150 : 30 = 5
Kr = 75 : 30 = 2,5
P5 = 99,66
P2,5 = 75,90
99,66 - 75,90 = 23,97%
360 : 21º = 17
23,97 : 17 = 1,4%

La precisione del calcolo della probabilità dipende dalla precisione con cui è stato calcolato il valore S, precisione che più au-

menta quanto più ampia la serie di colpi sparati. Affinché i risultati però non risultino falsati da tiri anormali occorre escludere dalle serie di colpi quelli cosiddetti anomali, cioè quelli che per imprevedibili fattori (errore del tiratore, difetto della carica o del proiettile, ecc.) si discostano da quelli che derivano invece dalle normali irregolarità del tiro.

In via approssimativa si considera anomalo quel colpo che in una serie di colpi non superiore a 10 ha uno scarto superiore a 5S e, in una serie superiore a 10 colpi, ha uno scarto superiore a 6S.

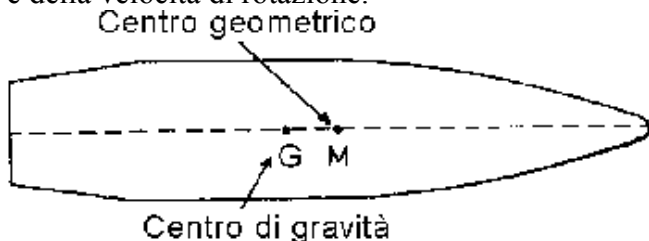
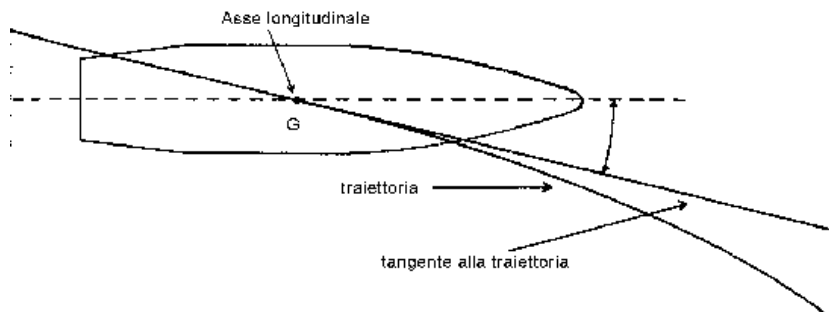
Un calcolo più preciso può farsi usando il fattore di anomalia di Chauvenet il cui uso è il seguente.

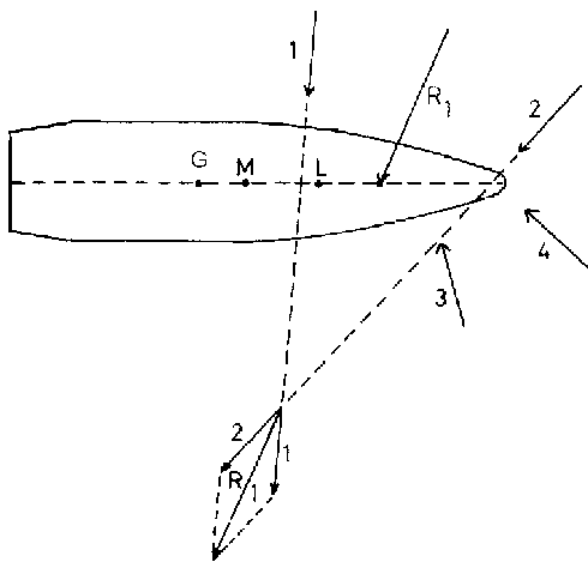
Prima di tutto si calcola il valore di S sui dati relativi ad un certo numero di colpi sparati, come spiegato all'inizio. Poi si controlla se vi sono scarti il cui valore sia superiore al prodotto di $y \cdot S$ in cui y è il fattore di anomalia di Chauvenet, correlato al numero di colpi sparati, secondo la seguente tabella:

nr	y	nr	y
4	2,27	8	2,76
5	2,43	9	2,84
6	2,57	10	2,91
7	2,67	12	3,02
8	2,76	20	3,32

Se ve ne sono, questi sono considerati tiri anomali e vengono esclusi, rifacendosi poi da capo il calcolo di M ed S. Nella rosata di figura 1 si avrebbe, ad esempio, 2,91 x 3,22 = 9,3 cm; siccome nessun colpo ha una distanza maggiore dal centro della rosata, vuol dire che non vi sono tiri anomali.

LA STABILIZZAZIONE DEL PROIETTILE

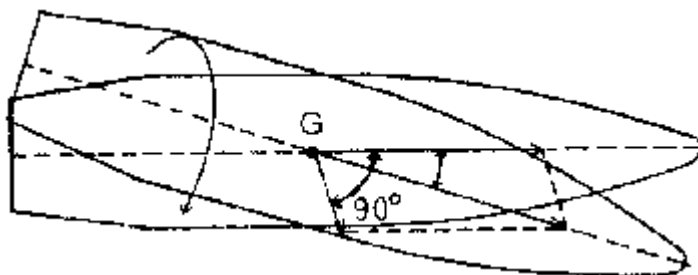
La rigatura delle armi serve per stabilizzare il proiettile durante il percorso lungo la traiettoria; non serve per aumentarne la velocità o la penetrazione, ma solo la precisione. La stabilità maggiore o minore dipenderà poi anche dalla lunghezza del proiettile e dalla sua forma, con influenza variabile a seconda della velocità del proiettile e della velocità di rotazione.

Nel proiettile a corpo cilindrico il centro di gravità è spostato all'indietro rispetto al centro geometrico del proiettile, il che ha come conseguenza che esso sarà sbilanciato all'indietro; mentre il baricentro segue la traiettoria, nella tangente ad ogni suo punto, l'asse del proiettile formerà un certo angolo con la tangente; vale a dire che la punta del proiettile viene a trovarsi sopra la traiettoria e non è diretto con precisione verso il bersaglio.

Altra conseguenza della forma del proiettile è che il punto di incidenza della resistenza dell'aria non cade sul baricentro, ma su di un altro punto, tra esso e la punta del proiettile; in un proiettile allungato e appuntito questo punto sarà più spostato in avanti; in uno tozzo sarà più spostato verso il baricentro. Un corpo cilindrico lungo comporterà poi un ulteriore arretramento di questo punto. In via generale si può affermare che la differenza tra baricentro e punto di attacco è tanto più grande (o piccola) quanto più lungo (o corto) è il proiettile oppure quanto più piccola (o grande) la sua densità sezionale. L'entità di questa differenza è molto importante.

Il fatto che l'asse nel proiettile non coincida con la tangente alla traiettoria comporta che l'aria incide sul proiettile con una spinta che agisce dal di sotto sulla punta del proiettile e tende a rovesciarlo; quanto maggiore detta differenza oppure quanto maggiore la velocità, tanto maggiore sarà il momento rotatorio tendente a rovesciare il proiettile. Anche una rigatura troppo profonda sul proiettile o il suo profilo anteriore tagliente (privo di ogni significato pratico, ma amato dai cacciatori) spostano negativamente il punto di applicazione della resistenza dell'aria.

Le forze 1, 2, 3…. che agiscono sulla punta del proiettile, si sommano in una risultante R_1 , che a sua volta si compone con altre risultanti

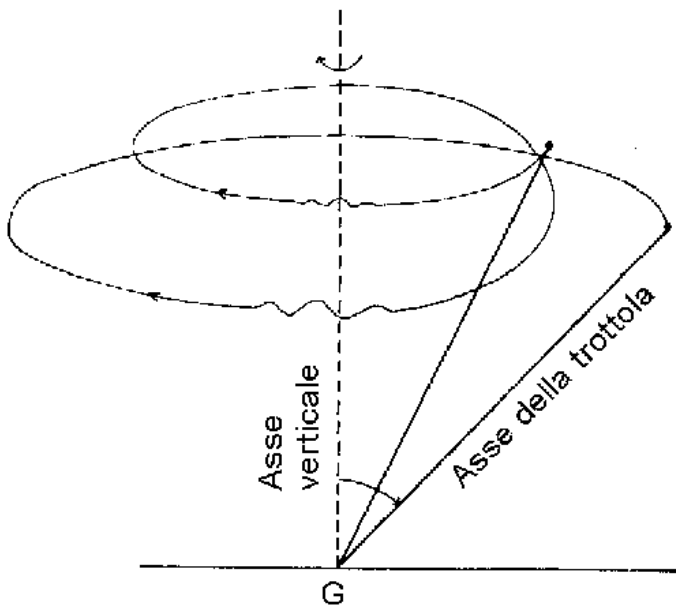
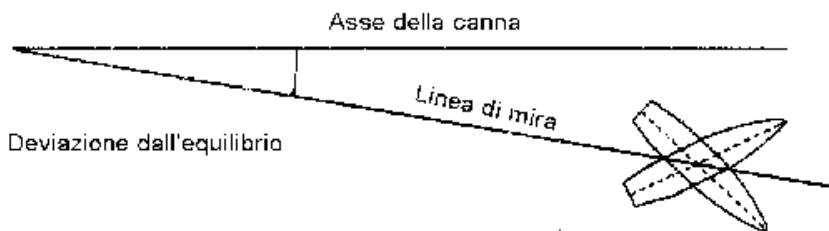
La soluzione a questo problema sta nella stabilizzazione del proiettile mediante la rigatura della canna oppure mediante sua impennatura.

La rigatura ha l'effetto di trasformare il proiettili in un sistema giroscopico (in una trottola per usare termini più alla mano). Chi ha osservato una trottola avrà notato le caratteristiche del suo movimento: 1) il suo asse verticale tende a deviare sempre di più dalla perpendicolare; 2) la punta della trottola percorre sul piano delle lente spirali; dopo un po' di tempo la trottola inizia ad oscillare vistosamente, la sua velocità di rotazione diminuisce per effetto dell'attrito e alla fine cade e si ferma. In una trottola sofisticata come un giroscopio si ha lo stesso comportamento, che talvolta sembra contraddire alle leggi della fisica: se il giroscopio in movimento viene sospeso con l'asse orizzontale invece che verticale, esso continua a ruotare in quella posizione. Non è questa la sede per fornire la spiegazione teorica dei movimenti giroscopici; giungiamo subito alla conclusione secondo cui un corpo in rapida rotazione, e quindi un proiettile, è soggetto a due movimenti: 1) la rotazione lungo l'asse longitudinale che in parte riduce l'effetto della forza di gravità e impedisce lo spostamento dell'asse; 2) spostamento dell'asse in direzione del movimento di rotazione (precessione; l'asse descrive una superficie conica); 3) spostamento dell'asse, anche per effetto della forza di gravità, che produce cicloidi o oscillazioni che si sovrappongono al movimento di precessione (nutazioni).

Il proiettile si differenzia un po' dal giroscopio per il fatto che il punto di rotazione è il centro di gravità e che tutto il sistema si sposta in avanti; sul proiettile quindi la forza che maggiormente agisce è la resistenza dell'aria. Se è nota la forza di gravità e la grandezza del momento di rotazione, si può stabilire l'entità del movimento di precessione.

Siccome asse del proiettile e tangente alla traiettoria non sono congruenti, ma formano un angolo, i movimenti di precessione e nutazione avranno luogo attorno alla tangente.

Spostamento dell'asse di un proiettile attorno al punto
G per il movimenti di precessione

Inoltre il movimento di nutazione nel proiettile si verifica solo periodicamente perché viene attenuato dalla resistenza dell'aria; in realtà infatti i vari movimenti si sovrappongono, talvolta attenuandosi, talvolta sommandosi; i fattori che intervengono sono numerosissimi (si pensi alla enorme varietà di forme e misure dei proiettili) e accertabili solo in via sperimentale e non è facile descriverli neppure con complicatissima analisi matematica. Ed in effetti gli esperimenti compiuti per verificare la stabilità dei proiettili sono molto scarsi (cartucce militari M1 ed M2).

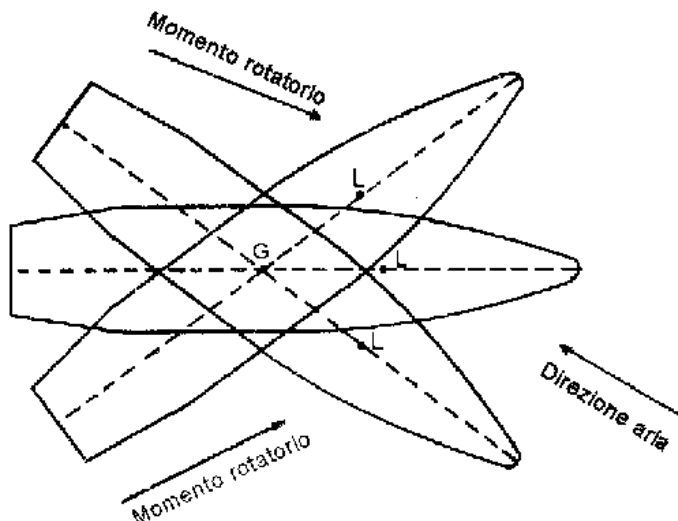
Il compito della rigatura di un arma è quello di impedire che il proiettile si capovolga e di fa sì che il suo asse longitudinale rimanga il più possibile aderente alla tangente alla traiettoria. Quanto meno si raggiunge questo risultato e tanto più si ha un aumento di pressione dell'aria sul proiettile dal lato verso la tangente e che spinge il proiettile nella direzione della rigatura (effetto Poisson) e ad allontanarsi ulteriormente dalla tangente. Questa deviazione viene indicata come "deviazione dalla condizione di equilibrio" o "punto zero" ed è costante, a parità di rigatura, per un determinato proiettile e una data lunghezza di canna. Esperimenti compiuti dai Ballistic Research Laboratories di Aberdeen hanno indicato che a 1000 metri di distanza è circa di 30 cm in orizzontale e 3 cm in verticale. Questa deviazione viene compensata in sede di taratura dell'arma.

Constatato così che i fenomeni fisici che intervengono su di un proiettile sono talmente numerosi e reciprocamente intricati, così che è vano cercare di trovare una regola semplice che possa guidare nel calcolare la stabilità di un proiettile, vediamo almeno di individuare alcuni criteri generali che posano almeno servire da guida.

Ferme restando le altre condizioni si può affermare che

1) L'ampiezza di precessione e nutazione sono proporzionali alla velocità di rotazione del proiettile;

2) La velocità di rotazione varia in funzione del passo di rigatura e della velocità del proiettile; ciò significa che la precisione intrinseca di un proiettile varia con la sua velocità o, espresso altri-

menti, se in una stessa arma si varia la velocità del proiettile, varia in modo corrispondente la sua dispersione nella rosata.

3) Se un proiettile viene sparato alla stessa velocità iniziale da canne con diverso passo di rigatura, si ottiene la miglior concentrazione della rosata solo con una determinata combinazione.

4) In conclusione: la stabilità e la coerenza di un dato proiettile aumentano o diminuiscono se cambia la sua velocità di rotazione.

In termini matematici la stabilità si esprime con la formula (1)

$$S = \frac{(M_0 \cdot r)^2}{4M_1 \cdot K}$$

in cui M_0 è il momento di inerzia del proiettile lungo l'asse longitudinale, M_1 è il momento di inerzia lungo l'asse perpendicolare al precedente e passante per il centro di gravità, r è la velocità angolare di rotazione e K un fattore che vedremo.

Posto f= frequenza di rotazione e p = passo di rigatura, la velocità di rotazione è data dalla formula 6,28 · f ed f da V_0 /p e quindi (2)

$$r = 6{,}28 \cdot V_0 / p$$

Un proiettile con velocità di 1000 m/s sparato da una canna con passo di 0,25 rotazioni per metro avrebbe quindi all'uscita dalla canna una frequenza di 4000 giri al secondo e una velocità di rotazione pari a 6,28 · 4000.

Dalla formula 2 si ricava che la stessa velocità di rotazione può ottenersi con diverse combinazioni di velocità iniziale e di passo. Perciò se per stabilizzare un proiettile che viaggia ad 800 m/s è richiesta una frequenza di 4000 giri al secondo, il passo dovrà essere di 0,20 giri al metro.

Il momento di inerzia del proiettile lungo l'asse longitudinale è dato dall'integrale (3)

$$M_0 = \int k_2 \cdot dm$$

in cui k indica il raggio del calibro e m la massa del proiettile così che può scriversi (4)

$$M_0 = \int k_2 \cdot d\frac{P}{g}$$

in cui P è il peso e g la gravità.

Questa formula ci dice che il momento d'inerzia è direttamente proporzionale al peso del proiettile e che varia in misura quadratica rispetto al calibro, ragione per cui l'influenza del calibro è rilevante. In pratica ciò significa che se per un certo proiettile è richiesto un certo momento di inerzia, il proiettile dovrà avere un dato peso; se si diminuisce il calibro si dovrà aumentare il peso del proiettile.

Il momento di inerzia dell'asse perpendicolare è espresso dalla stessa formula (4) in cui invece di k si inserisca h^2 che indica la distanza fra punto di incidenza della resistenza dell'aria e centro di gravità. Questa varia a seconda del fattore di forma i e della lunghezza del proiettile l.

Il fattore K varia in funzione della velocità, del peso, della distanza h e del coefficiente balistico, così che si può scrivere la formula (in cui Δ= densità dell'aria)

$$(5) K = V \cdot h \cdot i \cdot k^2 \cdot \Delta$$

Combinando assieme le formule ora viste e tralasciando per semplicità l'integrale e le costanti 6,28 e 9,81, si potrà scrivere che il fattore di stabilità è descritto dalla formula (6)

$$S = \frac{V_0^2 \cdot k^4 \cdot P}{V \cdot d^2 \cdot h^3 \cdot r^2 \cdot \delta}$$

Tenuto conto che la velocità in un dato punto è funzione della velocità iniziale e che il rapporto tra peso e sezione è dato dalla densità sezionale Q si potrà scrivere anche (7)

$$S = \frac{V_0^2 \cdot k^4 \cdot Q}{f(V_0) \cdot d^2 \cdot h^3 \cdot i \cdot \delta}$$

La formula, troppo approssimativa, non serve per il calcolo preciso della stabilità, ma per indicare la relazione fra i vari fattori in gioco.

Secondo l'opinione comune un proiettile si considera sufficientemente stabilizzato quando S è maggiore di 1 in quanto si riduce al minimo l'effetto di "sfarfallio" dovuto alla nutazione. Quanto maggiore il fattore S, tanto maggiore è l'ammortizzazione della nutazione. Nella pratica si è trovato che il valore ottimale è da 1,3 ad 1,8.

Ripetiamo quindi che il valore di S diventa tanto più grande (o piccolo) quanto più grande (o piccolo) è il denominatore nella frazione (7); la velocità di rotazione cresce (o cala) in rapporto diretto con la velocità alla bocca e in rapporto inverso con il passo della rigatura.

Esaminando ulteriormente i valori della formula (7) si vede che un aumento della velocità iniziale influisce senz'altro sulla stabilizzazione in quanto la velocità entra nel dividendo al quadrato; la stabilità diminuisce via via che cala la velocità del proiettile, fino a che si arriva ad una velocità critica al di sotto della quale la stabilità non è più sicura.

Il passo entra nella formula al quadrato, ma nel divisore: perciò una diminuzione del passo aumenta notevolmente la stabilità. Dal fatto che il raggio del calibro entri nella formula alla quarta potenza mentre la densità sezionale vi compare in forma semplice, si può dedurre che proiettili di grosso calibro e corti sono meglio stabilizzati di proiettili di piccolo calibro e lunghi (ovviamente si trascurano qui altri aspetti, quali la diversa resistenza dell'aria e il diverso comportamento la vento laterale, che rendono consigliabili una buona densità sezionale).

Il fattore di forma i e la distanza h (essa pure influenzato da i) alla terza potenza, ci dicono che fra due proiettili dello stesso speso ma di calibro diverso, è più stabile quello con la punta più slan-

ciata; se di peso diverso ma con punta eguale, quello con la minor densità sezionale; se di peso eguale ma di calibro diverso quello con il calibro maggiore.

La coerenza (ingl. tractability) di un proiettile

Per coerenza del proiettile si intende quella caratteristica per cui il suo asse segue la direzione del movimento (tangente alla traiettoria); sua caratteristica è che l'angolo tra asse e tangente deve restare piccolo in ogni punto della traiettoria. Il che si ha quando la variazione di questo angolo è sempre minore della variazione dell'angolo di precessione.

Il quoziente di questi due angoli si chiama fattore di coerenza e può essere descritto dalla formula (8)

$$F = \frac{K \cdot V_0}{M_0 \cdot r \cdot g \cdot cos\beta}$$

in cui cosβ indica il coseno dell'angolo della tangente alla traiettoria (angolo fra tangente e orizzonte) che varia continuamente durante il volo del proiettile e che quindi assume valori da positivi a negativi. La formula si può semplificare per il vertice della traiettoria in cui il valore è eguale a 1 e si può scrivere la (9)

$$F = \frac{V^2 \cdot h \cdot i \cdot k^2\delta}{M_0 \cdot r}$$

Confrontando le formule (7) e (9) si vede che al variare del momento di inerzia o del calibro, S ed F variano in direzione opposta; il che significa che un massimo di coerenza si ottiene con un valore minimo di stabilità, e viceversa, così che è necessario trovare un compromesso tra i due valori. Ma quale dei due è il più importante?

La coerenza ci dice di quanto l'asse longitudinale del proiettile è allineato alla tangente alla traiettoria. Una grande (/piccola) coerenza comporta, tra l'altro una minore (/maggiore) deviazione dalla situazione di equilibrio. Però questa deviazione è praticamente priva di significato per le armi leggere in cui viene corretta con la taratura.

La stabilità per contro ci indica la misura delle oscillazioni del proiettile a causa della nutazione e quindi la dispersione sul bersaglio ed è indubbiamente più importante della coerenza nelle armi

leggere, essa garantisce la precisione intrinseca del singolo proiettile.

Si può perciò concludere che in pratica: la precisione intrinseca di un proiettile è tanto più grande (/piccola) quanto più grande (/piccolo) è il suo calibro, quanto minore (/maggiore) il passo, quanto maggiore (/minore) la sua velocità iniziale, quanto minore (/maggiore) il fattore di forma, quanto minore (/maggiore) la sua lunghezza.

Per tale motivo per una carabina con un canna avente un dato passo di rigatura vi sono poche combinazioni di componenti di carica che diano una stabilizzazione ottimale e la minor dispersione; combinazioni da trovare con esperimenti pratici.

La formula di Greenhill

È una formula empirica per calcolare il passo di rigatura che è necessario per stabilizzare un proiettile di una data lunghezza. Essa, vecchia di settant'anni, si basa sulla semplice regola che quanto più lungo il proiettile (cioè, ancora più in generale, quanto più pesante per un dato calibro), tanto maggiore deve essere la velocità di rotazione.

La formula è:

$$T = 150 *(D/R)$$

In cui

T è il passo in pollici (spazio in cui il proiettile compie un giro)

D è il diametro in pollici

R è la lunghezza del proiettile diviso il diametro.

La costante 150 è relativa a velocità di 1500 piedi/secondo (= 450 m/s) ; per 2800 p/s (= 850 m/s) inserire 180.

Ma se R e eguale L/D, si può scrivere

$$T= 150 * D^2 /L$$

Sia la lunghezza del proiettile 1,064" (= 27 mm)

Il passo richiesto sarà dato da

$$T= 150 \cdot 0{,}224^2 / 1{,}064 = 7{,}07\text{" di passo } (= 17{,}96 \text{ cm})$$

Si potrebbe calcolare direttamente in mm:

Vediamo ora il calcolo in millimetri

$$T = 150 \cdot 5{,}69 \cdot 5{,}69/27 = 179 \text{ mm}$$

Per converso, per trovare la lunghezza del proiettile che una data rigatura può stabilizzare si userà la formula

$$L = 150 \cdot (D \cdot D/T) \text{ o meglio } 150 \cdot D^2 /T$$

Dove L è la lunghezza del proiettile.

$$L = 150 \cdot 5{,}69 \cdot 5{,}69/179 = 27 \text{ mm}$$

Proiettili stabilizzati con impennatura

Il loro comportamento si differenzia dai precedenti per il fatto che il loro punto di gravità si trova tra la punta e il punto di incidenza dell'aria sia perché così costruiti con adeguata distribuzione delle masse, sia per alette posteriori che spostando il punto di incidenza all'indietro. Queste alette sono più efficaci se sporgono oltre il calibro del proiettile. È possibile che esse non sporgano, ma allora devono essere alquanto lontane dalla punta del proiettile. Le alette produco una elevata coerenza del proiettile che per tutta la traiettoria ritorna rapidamente a seguire la tangente alla traiettoria.

Questi proiettili non richiedono un movimento rotatorio, ma si è visto che una lieve angolazione delle alette tale da imprimere una rotazione di alcune centinaia di giri al minuto, correggono errori di traiettoria dovuti a scarsa simmetricità. La frequenza di rotazione deve essere stabilita sperimentalmente per evitare che sia vicina a quella dei movimenti pendolari, a cui verrebbe a sommarsi.

Vantaggi: possibilità di proiettili lunghi e quindi con grande densità sezionale; uso di proiettili asimmetrici; possibilità di guidarli in volo; possibilità di trasporto di cariche che non sopportano la forza centrifuga.

Svantaggi: un maggior Cx riferito alla densità sezionale; formazione di vortici alla base del proiettile.

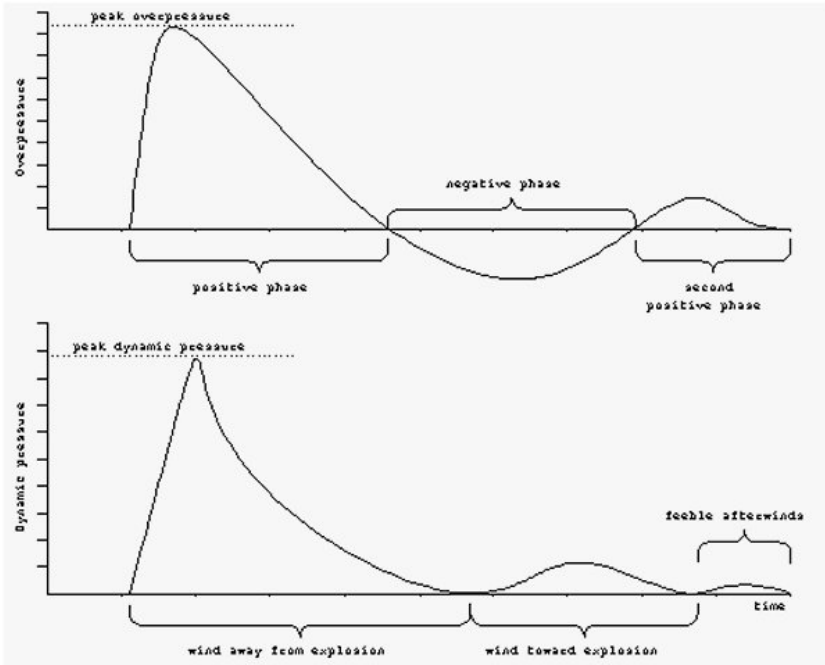
FRAMMENTI DI BOMBE O DI PROIETTILI

Il problema della proiezione di frammenti ad opera di una e-splosione concerne sia i frammenti dell'involucro contenente l'esplosivo (bomba, proiettile, ordigno) sia i frammenti della struttura demolita dall'esplosione.

Le variabili sono troppe perché si possa costruire un modello matematico preciso e si possono dare solo indicazioni di massima per valutazioni orientative. Ogni dato di questo scritto va usato con molto spirito critico, tenendo sempre presente che la mia competenza in materia è limitata!

Gli effetti sono molto variabili anche in relazione alla massa dell'esplosivo.

L'esplosione provoca un'onda d'urto con un elevato picco iniziale che si esaurisce in pochi millisecondi; poi la pressione cala lentamente. Come l'onda passa, la pressione oscilla una o più volte tra fasi positive e negative. Quando la pressione è al di sopra di quella ambientale, l'onda d'urto si dice in fase positiva. La condizione opposta è chiamata la fase negativa. A causa della differenza di pressione all'interno dell'onda d'urto, l'aria viene portata da alta a bassa pressione. Questo crea un vento di esplosione, che può essere di notevole velocità, oltre 160 kmh. La velocità di propagazione è costante (velocità del suono). La pressione riflessa può essere da 2 ad 8 volte quella diretta.

L'onda d'urto è caratterizzata da un fronte di pressione che quando incontra un ostacolo in parte lo attraversa e in parte viene riflessa con un'onda pulsante.

Onda di pressione

In linea di massima il picco di pressione si esprime con la formula

$$Pressione\ (in\ PSI) = \frac{4120}{z^3 - \frac{105}{z^2} + \frac{39{,}5}{z}}$$

in cui

$$z = \frac{2{,}54 \cdot R_m}{P_{kg}^{0{,}333}}$$

(2,54 serve solo per convertire la formula originaria che è in piedi e libre)

R = la distanza fra esplosione e bersaglio

P è il peso TNT equivalente

Ad es. per 1 kg di TNT si avrà una sovrappressione :

A 10 metri di = 0,118 kg/cm^2 (1, 65 PSI)

A 5 metri di 0,31 kg/ cm^2 (4,4 psi)

A 1 metro di 17,6 kg/ cm^2 (250 psi)

Per una bomba a mano di 160 gr di TNT-equiv. si ottiene 320 psi = 22 kg/cm^2

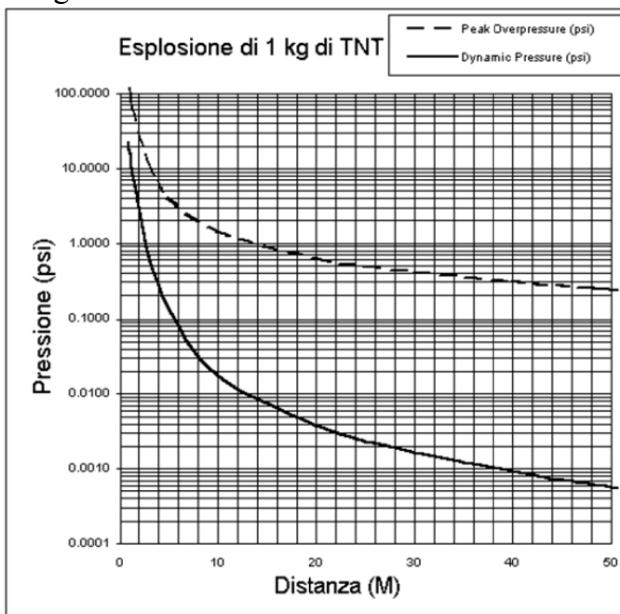
La formula vale per una esplosione libera; se l'esplosivo è a contatto con il suolo il picco di pressione in orizzontale può arrivare a dimezzarsi.

È stato calcolato il livello di pericolosità della sovrapressione sul corpo umano:

1,5 kg/ cm^2 : lesioni minime
2,5 kg/ cm^2 : lesioni modeste
3 kg/ cm^2 : lesioni gravi
10 kg/ cm^2 : lesioni mortali

Una protezione con indumento balistico diminuisce il rischio del 25% .

Questi dati sono intesi per grandi masse di esplosivo, oltre il quintale; infatti a parità di pressione, la lesività decresce se diminuisce il quantitativo di esplosivo in quanto diminuisce il tempo di azione del picco di pressione.

Ecco il grafico che indica il picco di sovrapressione e la pressione dinamica in funzione della distanza dall'origine dell' esplosione di un kg di TNT.

E questi sono i danni prevedibili alle strutture :

kg/cm	psi	Danni prevedibili alle strutture
0,010 – 0,015	0,15-0,22	Rottura dei vetri di finestre
0,035 – 0,07	0,51-1,1	Piccoli danni in alcuni edifici
0,07 – 0,12	1,1-1,8	Pannelli di metallo deformati
0,12 - 0,20	1,8-2,9	Danni evidenti ai muri
oltre 0,35	oltre 5,1	Demolizione di edifici in legno
0,28 – 0,5	4,0 -7,0	Danni gravi a costruzioni in acciaio
0,40 – 0,61	5,8-8,7	Danni pesanti a edifici rinforzati
oltre 0,7	10-11,6	Demolizione di ogni tipo di edificio

Ricordo che :

1 psi = 6'894,76 Pa = 6,894 kPa = 0,069 bar = 0,703 mH2O = 51,715 mmHg = 0,689 N/cm² = 0,068 atm = 0,0703 kg/cm² = 144 lbf/ft² = 2,31 ftH2O.

1 km/cm^2 = 14,22 psi

L'esplosione di un ordigno o di una bomba o di un proiettile provoca la proiezioni di frammenti di varie dimensioni. Una grossa bomba d'aereo si frammenta in oltre 2000 pezzi il 50% dei quali va da 1,5 a 10 grammi di peso. Frammenti di artiglieria con peso di 0,3 - 0,5 g. producono ferite penetranti, anche nel torace, fratturano ossa facciali e tibia se hanno una energia cinetica di 100-120 J/cmq Penetrano nel muscolo per 6-8 cm

La forma dei frammenti (salvo i casi di involucri preintagliati) è estremamente variabile con bordi frastagliati, come se il materiale fosse stato strappato; quindi sono molto taglienti. Essi raggiungono velocità di 1000-1500 m/s ma, a causa dell'elevata resistenza che oppongono all'aria e quando hanno un peso inferiore a mezzo grammo, non sono più letali dopo 5 metri di volo.

È quasi impossibile individuare un modello matematico della balistica dei frammenti, men che approssimativo.

Esiste una formula (formula di Gurney) che consente di calcolare approssimativamente la velocità iniziale di un frammento

Dati:

C – La massa della carica esplosiva

M – La massa dell'involucro

V– Velocità iniziale dei frammenti

$\sqrt{2E}$ La Costante di Gurney relativa all'esplosivo usato e che indica il calore di esplosione in J/kg Essa viene espressa in unità

di velocità (ad es. millimetri per microsecondo o chilometri per kg). In via molto approssimativa essa è pari a 1/3 della velocità di detonazione.

Ecco i valori della costante per alcuni esplosivi:

Esplosivo	Costante
Composition B	2770
Composition C-3	2680
Cyclotol 75/25	2790
HMX	2800
LX-14	2970
Octol 75/25	2800
PBX 9404	2900
PBX 9502	2377
PETN	2930
RDX	2830
Tetryl	2500
TNT	2440
Tritonal	2320

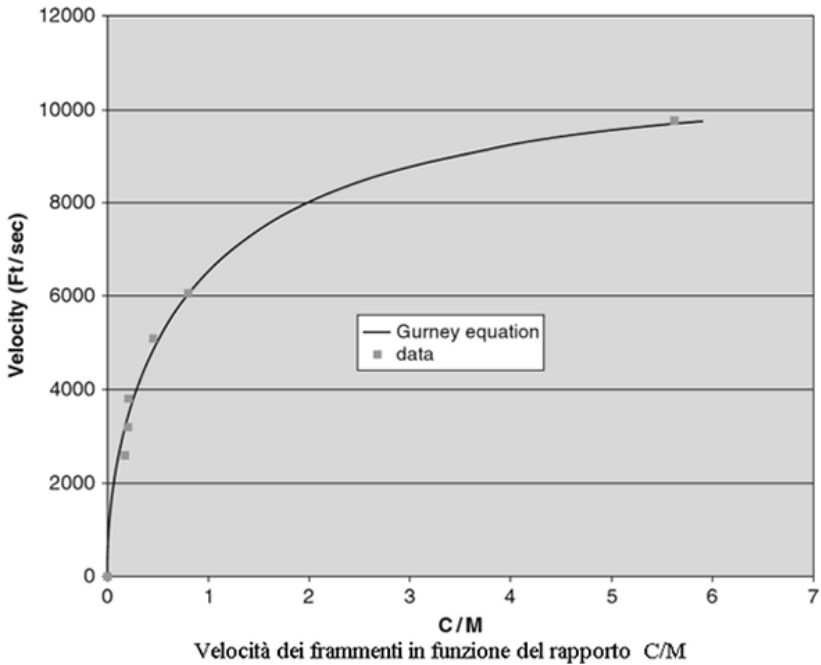
Se la carica ha forma di cilindro, come in bombe o proiettili e-splosivi , la formula da usare è

$$\frac{V}{\sqrt[2]{2E}} = \left(\frac{M}{C} + \frac{1}{2}\right)^{-0,5}$$

Se la carica è sferica

$$\frac{V}{\sqrt[2]{2E}} = \left(\frac{M}{C} + \frac{3}{5}\right)^{-0,5}$$

La velocità massima iniziale che si assume raggiungibile da un frammento è di 4600 m/s

Velocità dei frammenti in funzione del rapporto C/M

Esempio: trovare la velocità iniziale di frammenti di una bomba a mano M-61

La M-61 utilizza 185 g di Comp-B (costante di Gurney = 2770 m/s) e l'involucro pesa 210 g. Il rapporto fra carica e metallo è

M/C = 210/185 = 1,135

Utilizzando il fattore per oggetti di forma sferica K = 3 / 5 si ha

V_0 = 2100 m/s ; in realtà i frammenti di una bomba a mano non superano i 1500 m/s e sono innocui dopo 250 metri circa.

Ecco i dati sperimentali per i frammenti di una bomba a mano russa:

Peso/grammi	V_0 m/s
0,116	1570
0,168	819
0,195	1430
0,198	1074
0,200	972
0,300	840

La seguente tabella sperimentale per un proiettile da 105-mm M1 dà una indicazione realistica sul comportamento dei frammen-

ti. La distanza massima raggiunta dal frammento più pesante e più veloce è 590 m. Il raggio di rischio è di circa 100 metri, ma con un calo drastico di probabilità di colpire un avversario oltre i 25 m. dal punto di impatto. La bomba è considerata sicuramente letale entro i 5 m. In genere nei proiettili il rapporto esplosivo involucro è di 0,1 – 0,2.

Peso kg	V_0 m/s	Dist max m
0,093	1235	591
0,070	1484	569
0,039	1577	484
0.043	1225	471

Un'altra formula consente di valutare la perdita di velocità del frammento dopo un certo percorso è la seguente:

$$v_s = v_0 e^{\frac{-\rho C_d A S}{2m}}$$

In cui ρ è la densità dell'aria (1,2 kg/m^3)
Cd è il coeff. aerodinamico
A l'area sezionale del frammento
S la distanza in metri
M il peso del frammento in kg
Sia ad esempio da trovare la velocità a 100 metri dalla scoppio di un frammento di M61. Se:
V_0= 2100 m/s
A= 1 cm^2
Cd = 0,5
m = 2 g
ρ = 1,2
si avrà

$$V_s = 2150 \cdot e^{\frac{-1{,}2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}0001 \cdot 100}{2 \cdot 0{,}002}} = 480\ m/s$$

A 6 m Vs sarebbe di 1920 m/s, a 10 metri 1800 m/s; a 20 m 1555 m/s.
Il problema è ovviamente di stabilire il coeff. aerodinamico da impiegare; 0,5, come suggerito nell'esempio sopra riportato, è il cx per un proiettile ideale che viaggia a 6 Mach, con variazione

possibile fra 0,4 e 0,6; ma un frammento rotante presenta una resistenza infinitamente maggiore (anche 7 volte). La formula comunque funziona!

Il calcolo può comunque essere fatto con qualunque programma di balistica (ad es. Winballit, di cui trovate il listato in appendice al libro) utilizzando un coefficiente aerodinamico pari ad 1,5 se si assume un comportamento del frammento simile a quello di una sfera e pari a 2 se si assume che esso opponga la stessa resistenza all'aria di un cilindro.

Questo appare essere il coefficiente più realistico considerando che il frammento viaggia con un movimento rotatorio vorticoso e con una forma e superficie continuamente variabili. Quando la velocità del frammento scende sotto la velocità del suono il cx va assunto pari a 0,8 - 1.

Per il brillamento di proiettili, per il caso in cui sia non possibile una proiezione tale da non consentire di raggiungere la massima gittata, si consiglia una distanza di sicurezza, assolutamente sovrabbondante, data dalla formula:

$D = 370 * \text{Peso/kg}^{1/5}$, nel caso di un solo proiettile e di

$D = 650 * \text{Peso/kg}^{1/5}$, nel caso di proiettili accatastati.

IL RINCULO DELLE ARMI DA FUOCO LEGGERE

Al momento dello sparo chi impugna l'arma riceve l'urto di questa sulla spalla (arma lunga) o sulla mano (arma corta), urto più o meno forte a seconda di svariate circostanze.

L'urto è una conseguenza diretta della legge fisica della conservazione dell'impulso. Prima dello sparo, quando arma e proiettile sono in stato di quiete, l'impulso del sistema è eguale a zero. Con lo sparo il proiettile e la colonna di gas di sparo che lo seguono, acquistano un certo impulso nella direzione dello sparo, impulso che viene compensato da un eguale impulso diretto nell'opposta direzione e, quindi, verso il tiratore, che ne subisce gli effetti. L'impulso del proiettile è dato dalla formula

$$Ip = 0,001 * mp * Vo$$

in cui *mp* indica la massa del proiettile in grammi e *Vo* la velocità del proiettile in m/s; l'impulso viene espresso in Newton per secondo.

La colonna dei gas ha una velocità che è eguale a zero sul fondello del bossolo ed eguale alla velocità del proiettile alla base di esso. Al centro avrà quindi una velocità intermedia, pari alla metà della velocità del proiettile. La massa dei gas sarà eguale alla masse della polvere e perciò l'impulso relativo sarà dato da

$$Ig = 0,001 * mg * Vo/2$$

in cui *mp* indica la massa della polvere.

Unificando le due formule avremo che l'impulso complessivo (impulso di bocca) sarà dato da

$$Ib = 0,001 * (mp + mg/2) * Vo$$

Quando il proiettile esce dalla bocca dell'arma, i gas si espandono con una velocità (Velocità di Lavalle) ricavabile dalla formula approssimativa

$$V_g = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{p_0 \cdot V_c}{m_g}}$$

in cui *Po* è la pressione alla bocca, *Vc* il volume interno della canna e del bossolo, in mm³ e mg la massa della polvere.

Ecco una tabella di dati sperimentali

Calibro	Lunghezza canna in mm	Velocità alla bocca in m/s	Pressione alla bocca in bar	Velocità dei gas in m/s
9 mm Luger	100	350	155	670
38 sp.	51	230	365	930
	102	265	160	780
44 mag.	102	410	615	745
	152	440	350	660
7,62 Nato	450	630	470	670
223 Rem.	405	960	660	750

In sostanza, ai fini pratici, si può assumere che in un'arma corta la velocità dei gas sia 600-900 m/s e in un'arma lunga 700-800 m/s

Di conseguenza l'arma subirà un ulteriore impulso successivo dato da

$$Is = 0,001 * mg * Vg$$

L'impulso totale retrogrado sarà quindi dato da

$$I = Ib + Is$$

Per azione di questo impulso l'arma acquista una velocità (teorica) all'indietro data da

$$V_r = \frac{I}{m}$$

in cui *ma* è la massa dell'arma in grammi. Detto in parole povere, per i non matematici, se il proiettile pesa 100 volte meno dell'arma, mentre il proiettile se ne va in una direzione con la velocità

sua propria, l'arma viene sparata nella direzione contraria ad una velocità cento volte inferiore.

Questa velocità però poco ci dice sul rinculo, rispetto a cui è più importante l'energia cinetica del sistema.

Combinando assieme la formula per l'energia cinetica, data da

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

con la formula che esprime Vr, si ottiene che l'energia cinetica del rinculo, in Joules, sarà data da

$$E_r = \frac{I^2}{2 \cdot m}$$

Questo è l'aspetto puramente fisico-matematico che non riesce a descrivere la sensazione soggettiva del rinculo. L'assorbimento di una certa energia implica la dissipazione di questa energia sotto forma di lavoro e non è possibile stabilire a priori in quale modo l'arma verrà "frenata" dal corpo del tiratore. Quanto più lunga la frenata, tanto minore la sensazione di rinculo, in rapporto inversamente proporzionale. Ad esempio il calciolo di gomma e l'imbottitura della giacca aumentano lo spazio di frenata e diminuiscono proporzionalmente la forza del rinculo. Se l'arma viene saldamente impugnata o appoggiata alla spalla, viene a formare un tutt'uno con la mano o con la spalla e il valore di *m* non sarà dato solo dal peso dell'arma, ma anche da quello della parte del corpo interessata, e la sensazione di urto sarà minore.

A complicare le cose interviene l'ulteriore fenomeno dell'impennamento dell'arma.

Per esigenze costruttive in quasi tutte le armi la canna è situata sopra il baricentro dell'arma; perciò al momento dello sparo e con l'inizio del movimento del proiettile, l'arma acquista un movimento rotatorio attorno al baricentro, che tende a spostare la bocca della canna verso l'alto e continua anche dopo che il proiettile ha lasciato la canna. Nelle armi corte questo movimento rotatorio può dare una sensazione più spiacevole del rinculo vero e proprio. Nelle armi a canne giustapposte vi può essere anche un movimento laterale, dalla parte della canna con cui si è sparato.

Quindi l'energia del rinculo si scompone in due parti riferibili al movimento retrogrado e al movimento rotatorio e la prevalenza

dell'una o dell'altra dipende, in parte, anche dal comportamento del tiratore. Se egli controlla bene l'impennamento, tanto più forte sentirà l'urto dell'arma; tanto più egli lascia libera l'arma di impennarsi, tanto minore sarà l'urto.

Ciò spiega come la struttura meccanica dell'arma possa influire sul rinculo: una giusta distribuzione delle masse, un corretto angolo tra canna e impugnatura, determinano la diversa ripartizione delle energie, secondo le necessità ed i gusti del tiratore. La presenza nell'arma di molle e masse in movimento che contribuiscano a dissipare l'energia del rinculo, servono anch'esse da "freno", abbreviando la frenata complessiva. Anche il fisico del tiratore fa la sua parte: la persona corpulenta che impugna l'arma saldamente aggiungerà al sistema una maggior massa muscolare e i maggiori spessori di tessuto molle funzioneranno da cuscinetto ammortizzante aggiuntivo.

Da quanto esposto si ricava che si può influire sul rinculo in vari modi.

Prima di tutto è ovvio che se si diminuisce l'energia della cartuccia (cioè la velocità iniziale del proiettile), diminuirà anche il rinculo; se non si vuole diminuire l'energia della cartuccia si dovrà:

- aumentare la massa dell'arma; il rinculo, in tal caso, diminuirà in modo inversamente proporzionale;
- diminuire la massa del proiettile; ferma restando la velocità iniziale l'impulso del proiettile è proporzionale alla radice quadrata del rapporto tra le due masse e quindi piccole diminuzioni di peso del proiettile influiscono molto sul rinculo. In parole più semplici: il 10% di peso dell'arma in più, comporta una diminuzione del rinculo del 10%; un aumento del peso del proiettile del 10%, ferma la sua velocità) o un aumento del 10% della velocità, fermo il peso, comporta un aumento del 20% del rinculo.

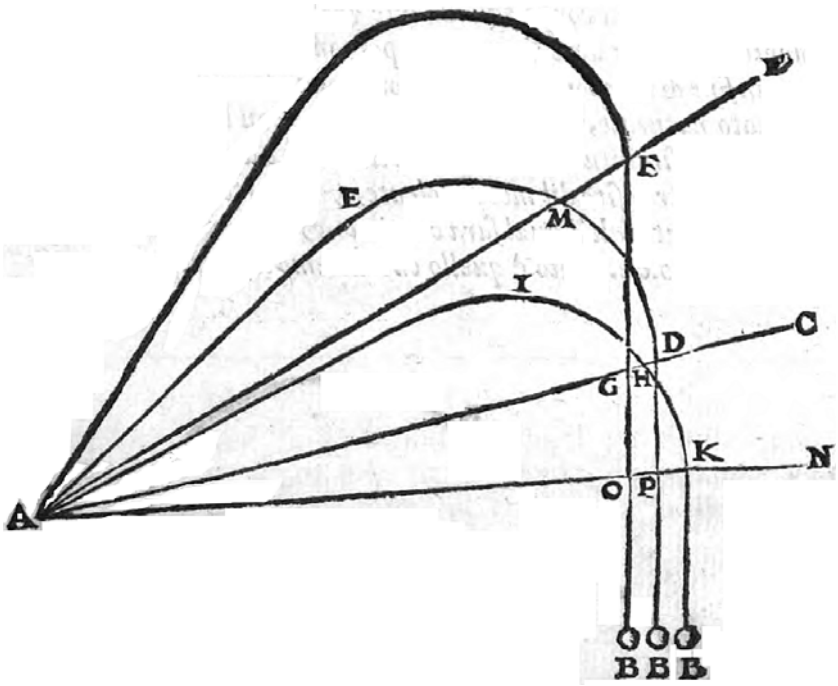
In secondo luogo si possono utilizzare come freno gli stessi gas di sparo mediante l'impiego di freni di bocca o di compensatori: se diretti all'indietro mediante opportuni intagli nella canna, per compensare il loro impulso retrogrado, se diretti verso l'alto per compensare il movimento di impennamento.

Al di fuori di queste considerazioni tecniche non è possibile fare affermazioni affidabili, anche se molti tiratori giurano su soluzioni personali, che però sono altamente soggettive. Si consideri ad e-

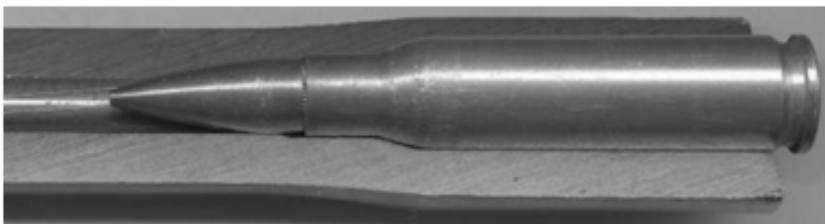
sempio che molti tiratori sono portati a considerare più forte il rinculo quando lo sparo è più rumoroso del solito. In effetti un forte rumore influisce sul rinculo solo se deriva dal fuoco di bocca (accensione dei gas fuori dell'arma) che aumenta l'effetto "razzo".

Si è anche riscontrato che al poligono di tiro il rinculo viene sentito molto più forte che non sul campo di caccia perché al poligono il tiratore si concentra sul tiro e si attende il rinculo; in caccia il tiratore pensa solo al selvatico[1].

---

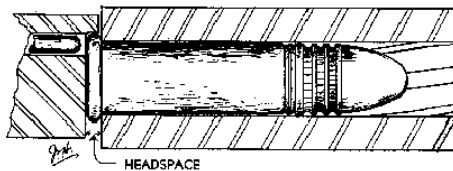
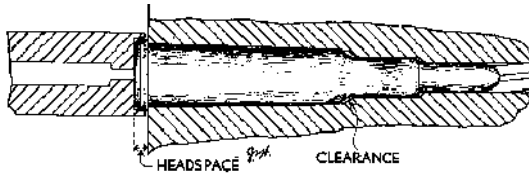
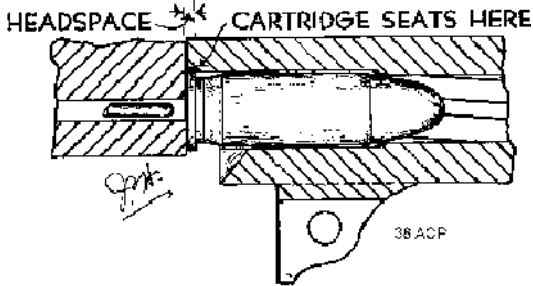
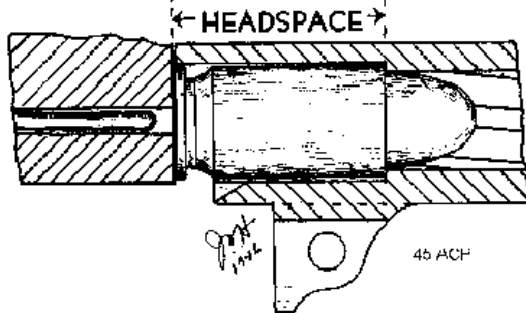
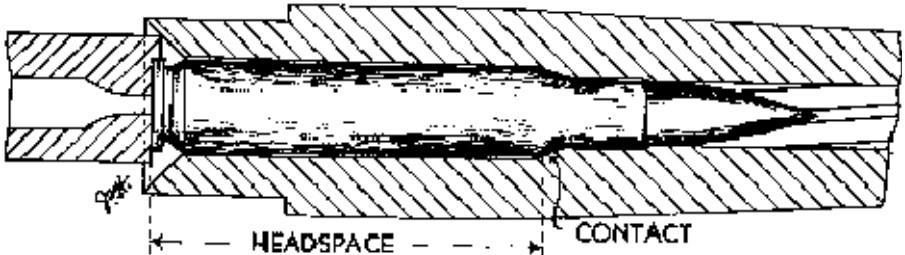
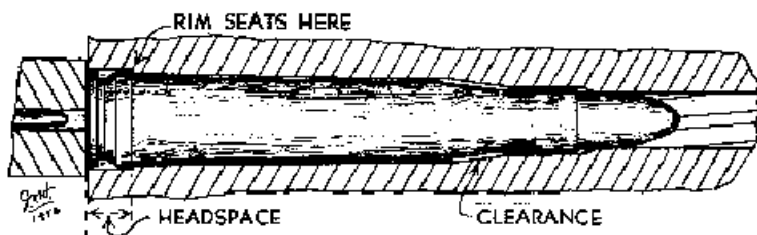
[1] Bibliografia: Beat P. Kneubuehl, *Geschosse,* Zurigo 1994, Lampel-Marhold, *Waffenlexikon*, Monaco 1994, J. Hatcher, *Hatcher's Notebook*, Harrisbourg 1966

Da Nicolò Tartaglia, *Nova scientia*, 1537

SPAZIO DI TESTA (ingl.: headspace) e **PERCORSO LIBERO** (ing.: free bore)

Ecco come appare una canna sezionata per mostrare la camera di cartuccia

La camera con la cartuccia inserita; chiari l'appoggio della spalla del bossolo e il free bore

Con il termine "spazio di testa" si intende lo spazio che intercorre tra la faccia anteriore dell'otturatore o della bascula e la superficie delle canna, esterna od interna alla camera di cartuccia, che provvede a bloccare il bossolo nel punto di massima introduzione.

Qualcuno lo definisce erroneamente come spazio tra la faccia anteriore dell'otturatore e fondello del bossolo, ma questo è un dato che talvolta può variare da cartuccia a cartuccia, mentre lo spazio di testa è un dato che attiene alla costruzione dell'arma e quindi fisso. Ciò non toglie che, in fin dei conti, la nozione di spazio di testa stia semplicemente indicare quale è il giusto gioco tra otturatore e fondello della cartuccia.

Lo spazio di testa, nel senso ora precisato, varia notevolmente a seconda del tipo di bossolo. Esaminiamo le immagini qui sotto tratte dal famoso Hatscher's Notebook.

Cartuccia a percussione anulare

Cartuccia con collarino

Cartuccia semirimmed

Cartuccia senza collarino con arresto sulla bocca.

Cartuccia senza collarino

Cartuccia cinturata

Nella cartuccia il cui bossolo ha l'orlo, lo spazio di testa, sarà di pochi millimetri, pari allo spessore dell'orlo che ha per l'appunto la funzione di bloccare il bossolo facendo contrasto con il piano di culatta, eventualmente munito di scanalatura (munizioni a percussione anulare, munizioni per fucili a canna liscia). La stessa cosa vale per le munizioni semi-rimmed. Invece lo spazio di testa sarà lungo quanto l'intero bossolo se questo è rimless poiché il bossolo viene fermato dal contrasto della sua bocca con il gradino terminale della camera di cartuccia (munizioni per pistola) oppure dal contrasto della spalla del bossolo con la corrispondente spalla della camera. Nel caso di bossoli cinturati (invenzione con significato più commerciale che tecnico) lo spazio di testa è, in teoria, misurato a partire dal risalto anteriore della cintura; in pratica questo è spesso insufficiente ad arrestare la cartuccia ed anche la spalla interviene a fissare il bossolo e a determinare lo spazio di testa.

Ogni tipo di bossolo ha quindi comportamenti diversi a causa di variazioni dello spazio di testa.

Lo spazio di testa deve essere il minore possibile tenendo però conto che il bossolo non deve interferire con il sistema di chiusura, con il percussore, con il funzionamento semiautomatico. È chiaro che uno spazio di testa errato per eccessiva riduzione potrebbe portare a difficoltà di chiusura dell'arma o a difficoltà di sua apertura dopo lo sparo. Inoltre lo spazio di testa troppo corto può portare a forzare il bossolo nella camera di cartuccia; se la bocca del bossolo finisce per impegnare un po' l'inizio della rigatura si verificheranno senz'altro sovrappressioni pericolosissime.

Il pericolo però, specialmente nei bossoli a bottiglia, viene senz'altro da un eccessivo spazio di testa che può essere dovuto:

1 - a difetto dell'arma per errori di produzione o per deformazioni successive (molto probabile in vecchie armi o in armi militari

riassemblate con carrelli ed otturatori di diversi lotti di produzione e, talvolta, persino di diversi produttori).

2 - a difetto del bossolo perché di calibro errato (ad esempio confondendo un 6,5x57 con uno 6,5x54) o perché deformato o accorciatosi nel corso di precedenti operazioni di ricalibratura. Se lo spazio di testa è superiore al dovuto, **anche per valori di poco superiori ad un millimetro**, al momento dello sparo avvengono i seguenti fenomeni:

1 - Il bossolo si dilata alla bocca e l'attrito la fa aderire alle pareti della camera; il fondello, non appoggiato contro l'otturatore, arretra, il bossolo si dilata in lunghezza e spesso si provoca la sua rottura circolare circa mezzo centimetro sopra il fondello.

2 -I gas di sparo escono dalla chiusura con pericolo per il tiratore; in alcuni casi anche il castello può scoppiare.

3 -L'otturatore, se ha gioco, viene sospinto violentemente indietro con un effetto martello (*slapback*) che produce ulteriori danni.

Uno spazio di testa non adeguato incide anche sulla precisione dell'arma; in letteratura, ad esempio si leggono di problemi riscontrati nella SIG 229 cal. 357 (con appoggio sulla spalla) proprio in relazione a munizioni ricaricate che non rispettavano lo spazio di testa corretto.

Tipica rottura per eccessivo spazio di testa

Per la misurazione dello spazio di testa occorrono particolari accessori; è impossibile misurarlo correttamente e con la necessaria precisione al decimo di millimetro, con calibri usuali.

Un sistema usa, per ogni calibro, tre finti bossoli di acciaio. Il primo, detto GO Gauge deve consentire la chiusura dell'arma senza forzatura. Se vi è forzatura l'arma può sparare di norma munizioni commerciali, ma prima o dopo potrà capitare che l'arma scoppi.

Il secondo NO-GO Gauge viene usato su **armi nuove o con canna nuova** e se si riesce a chiudere l'arma, vuol dire che è difettosa e va ricontrollata dal produttore.

Il terzo, FIELD REJECT, da usare su **tutte** deve impedire la chiusura in ogni arma; se l'arma si chiude è pericolosa e non deve essere usata. Se l'arma nuova chiude con il NO-GO, ma non con il F-R si può concludere, con prudenza, che è usabile, ma solo con munizioni nuove corrispondenti esattamente alle dimensioni del calibro di prova.

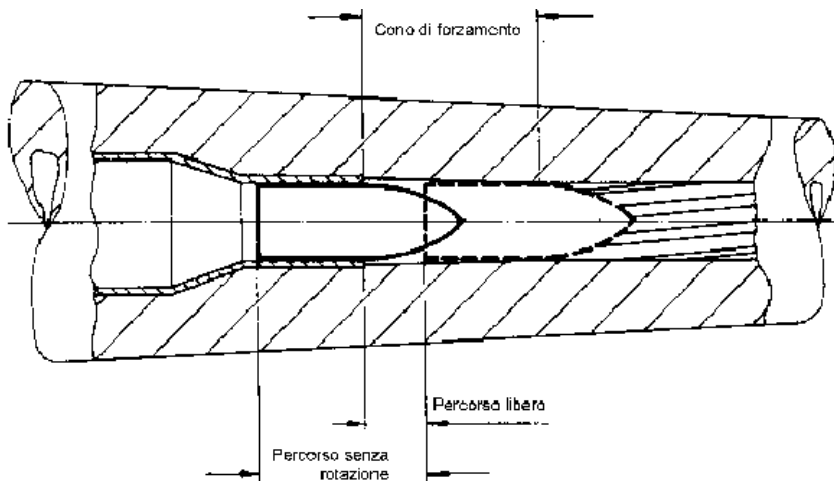
Questo sistema ha però i suoi limiti, anche per il fatto che le specifiche del CIP per le munizioni non sempre coincidono esattamente con quelle americane del SAAMI.

È in vendita, per calibri di fucile un attrezzino (*Universal headspace gauge*), con un fondello e una parte anteriore di bossolo collegati da una vite regolabile, che consente di trovare la giusta lunghezza e poi di misurarla con un normale calibro.

In mancanza di questi attrezzi, solo modesti consigli pratici: non usare munizioni che impediscono una agevole chiusura dell'arma; non usare munizioni che si inseriscono troppo oltre il piano di culatta, salvo ovviamente particolari conformazioni della testa dello otturatore; non usare l'arma, se il bossolo nuovo presenta segni di rottura od allungamento; non usare cartucce ricaricate se tendono a rompersi.

Percorso libero e il Percorso senza rotazione

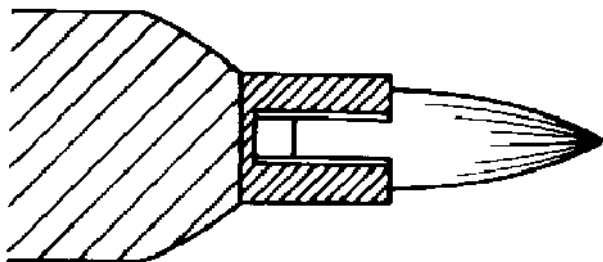
Questi due concetti riferiti al proiettile sono spesso confusi l'uno con l'altro.

Nelle munizioni per fucili a canna rigata la camera di cartuccia presenta un corpo a cui segue la spalla, a cui segue il cono di forzamento o di raccordo con l'inizio della rigatura della canna. Le dimensioni di questi elementi sono fissate dal CIP e particolare importanza per le pressioni e per la precisione assume la conformazione del cono di raccordo.

Il proiettile, prima di essere preso dalla rigatura e di iniziare a ruotare percorre un piccolo spazio senza rotazione che non dovrebbe essere inferiore a due millimetri: esso dipende esclusivamente dalla profondità di inserimento del proiettile nel bossolo. Però non può essere considerato libero perché per un certo tratto è ancora guidato dal collo del bossolo. La nozione più importante ai fini balistici è quella del percorso libero (*free bore*) e cioè quel tratto che il proiettile percorre dopo essere uscito dal bossolo, ma prima di impegnarsi nella rigatura. Esso dipende dalla lunghezza del cono di forzamento in rapporto alla lunghezza del corpo del proiettile. In questo spazio, anche se molto breve, il proiettile è soggetto a forze laterali prodotte dai gas che riescono a superarlo e a disturbare il suo inserimento nella rigatura, il che comporta deformazioni e minor precisione. Inoltre i proiettile viene frenato bruscamente quando si impegna nella rigatura e ciò provoca vibrazioni della canna. Si hanno fenomeni di erosione della canna nel punto del free bore. Il percorso libero aumenta se il proiettile ha la coda rastremata (*boat-tail*).

Chi ricarica deve quindi fare attenzione a che il proiettile abbia la giusta lunghezza e il giusto inserimento nel bossolo, senza però che esso arrivi fino ad impegnare il cono di forzamento; il verificarsi contemporaneo di più azioni resistenti può far salire la pressione a valori pericolosi.

Per quanto concerne il normale caricamento, gli esperimenti hanno dimostrato che se non si superano variazioni di inserimento del proiettile di ± 2 mm, le variazioni di pressione in relazione al diverso inserimento sono trascurabili; si è anche visto che l'aumento di pressione non comporta aumento nella velocità iniziale del proiettile, così che tutto concorre a sconsigliare che esso si verifichi.

In sostanza perciò, da un lato, occorre evitare che vi sia un percorso libero perché esso influisce sulla precisione e, dall'altro lato, occorre evitare che il proiettile della cartuccia impegni il cono di forzamento.

Come misurare il percorso libero

Prendere un bossolo già sparato, ricalibrarlo e con un seghetto fare una incisione perpendicolare nel collo, fino alla spalla. Rifinire il taglio con carta smeriglio. Prendere ora il proiettile desiderato e sistemarlo nel collo del bossolo in modo che questo lo tenga appena. Caricare l'arma e chiudere delicatamente l'otturatore; così facendo il proiettile va a toccare l'inizio della rigatura e viene sospinto nel bossolo quel tanto che basta. Misurando ora la lunghezza totale della cartuccia si ricava la lunghezza che deve avere per ottenere un percorso libero praticamente eguale a zero.

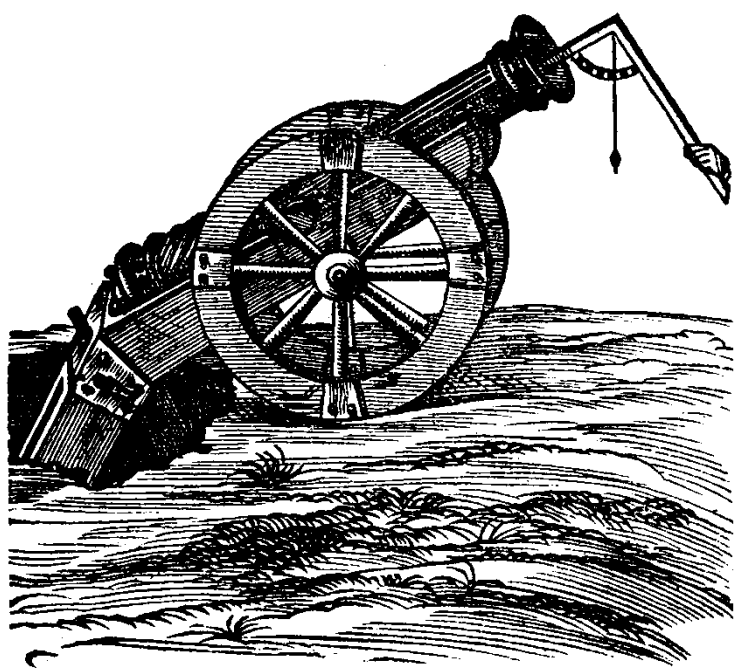



TAVOLA DI RITARDAZIONE DI LOVRY

La complessità dei calcoli balistici ha indotto molti Autori, quando ancora non vi erano i computer, a predisporre dei prontuari "di calcoli fatti" da cui, noti alcuni dati fondamentali (velocità, coefficiente balistico), si può risalire, con semplici calcoli aritmetici, ai valori della traiettoria del proiettile.
Tra queste tavole, particolarmente utili per il calcolo della traiettoria delle armi leggere sono quelle dette "di ritardazione", in cui, partendo da una determinata legge di resistenza di un proiettile standard, viene indicato lo spazio percorso dal proiettile per passare da una velocità ad una velocità inferiore ed il tempo impiegato a percorrere tale spazio. A questi dati possono aggiungersene altri, ad esempio per poter calcolare l'angolo di proiezione riferito ad una determinata gittata. Una volta trovati i valori standard, essi sono facilmente rapportabili ad un determinato proiettile, mediante l'introduzione del coefficiente di forma del proiettile stesso.
La prima fu pubblicata da Ingalls nel 1918 e si basava sugli esperimenti di Krupp del 1881 e sulla formula di resistenza del Mayevsky. Con il miglioramento della forma dei proiettili, con i nuovi metodi per misurare la velocità dei proiettili, con l'avvento del computer, si decise di decise di rivedere le tavole di Ingalls sulla base delle esperienze Ballistic Research Lab (BRL) e la Winchester pubblicò nel 1965 le nuove tavole, elaborate da E. D. Lowry; egli usa il metodo Siacci e in luogo della curva di resistenza G dello Ingalls utilizza la curva G-1. La quale curva in fin dei conti non si discosta molto dalla curva stabilita dagli esperimenti Krupp per il proiettile russo a punta tronca e base piatta!
Ripropongo qui le tavole del Lowry per gentile concessione della Winchester

Le tavole sono naturalmente calcolate per essere usate con misure anglosassoni, ma in effetti l'unico dato non appartenente al sistema decimale da utilizzare è quello relativo alla velocità del proiettile che dovrà essere espresso sempre in piedi al secondo (si ricorda che il fattore di conversione da piedi a metri è 0,3048).
Le tavole del Lowry, basate sul metodo di calcolo della traiettoria in un unico arco del Siacci, consentono di ottenere un'ottima precisione per traiettorie fino a 1.000 metri e angolo di proiezione inferiore a 5°; una precisione sufficiente per gli usi pratici può però ottenersi anche per angoli di proiezione fino a 10° e gittate di 4.000-5.000 metri.
Sebbene le tavole del Lowry siano state studiate per armi leggere, nulla impedisce di usarle anche per proiettili di maggior calibro con una opportuna scelta del coefficiente balistico.
La precisione dei risultati ottenibili con le tavole di ritardazione dipende fondamentalmente dalla accurata scelta del coefficiente balistico del proiettile o, per meglio dire, del coefficiente di forma "i" che rappresenta l'incognita nella formula del coefficiente balistico. Se di un determinato proiettile è nota la perdita di velocità nel percorrere un determinato tratto, il coefficiente di forma può essere ricavato agevolmente dalle stesse tavole di ritardazione; altrimenti il fattore "i" deve essere dedotto dalla forma del proiettile, secondo quanto già ampiamente spiegato nel cap. III.
Per l'uso delle tavole del Lowry e per proiettili di arma leggera possono assumersi, in prima approssimazione, i seguenti valori

- $i = 0,6$ per proiettili molto appuntiti;
- $i = 0,7$ per proiettili moderatamente appuntiti;
- $i = 0,85$ per proiettili moderatamente appuntiti e punta leggermente appiattita;
- $i = 1$ per proiettili moderatamente arrotondati;
- $i = 1,2$ per proiettili molto arrotondati.

In mancanza di meglio si può far ricorso al coefficiente utilizzabile per le tavole di Ingall oppure si può cercare di individuare il coefficiente dai dati balistici noti di un proiettile molto simile. Ci si può servire della tavola di Bugles e Coxe, già vista.

Il coefficiente balistico (**attenzione: non è il coff. usato per calcolare la resistenza dell'aria, ma tiene conto anche del peso del proiettile!**) da usare con le tavole del Lowry è dato dalla formula

$$C = \frac{Peso}{i \cdot diametro^2}$$

dove il peso P è indicato in libbre e il diametro *d* in pollici; in misure decimali la formula diviene

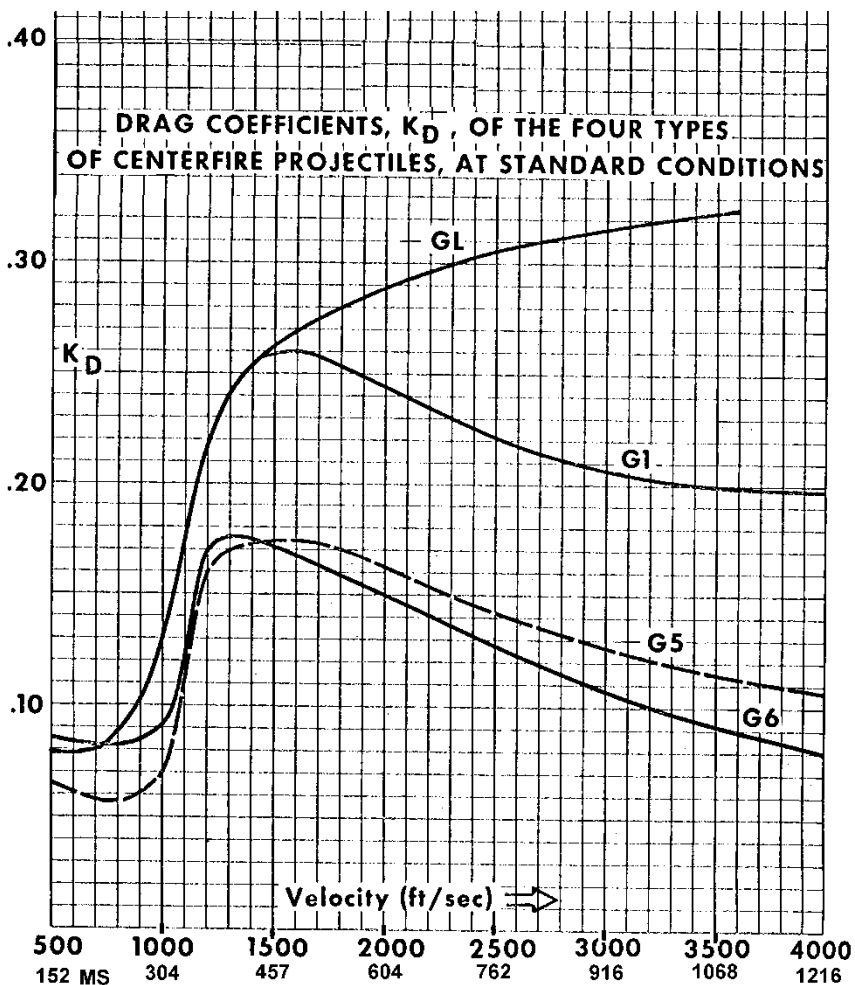
$$C = \frac{P_{gr}}{i \cdot d_{mm}^2} \cdot 1{,}422$$

in cui 1,422 è solo un fattore di conversione alle misure anglosassoni su cui sono baste le tavole.
Noto C, il valore di "i" sarà dato da

$$i = \frac{Peso}{C \cdot d.^2}$$

ovvero con misure decimali

$$i = \frac{P_{gr}}{C \cdot d_{mm}^2} \cdot 1{,}422$$

Le tavole del Lowry sono cinque, per quattro differenti tipi di proiettili che sperimentalmente hanno dimostrato un comportamento aerodinamico troppo diverso fra di loro per poter essere rappresentato da un'unica curva.
La tavola G-1 è quella di più generale applicazione per ogni proiettile di arma leggera, da caccia o militare, con forma e camiciatura normale.
La tavola G-L serve per ogni proiettile a punta di piombo o a punta cava.
La tavola G-5 serve per tutti i proiettili con una forma di coda particolarmente favorevole, quali quelli con base rastremata (Torpedo) o quelli traccianti.
La tavola G-6 serve per proiettili intermente camiciati, appuntiti e con base piatta.
Le curve sono rappresentate graficamente così:

e i relativi valori tabulati, riferiti alla atmosfera standard, sono esposti in questa tabella:

V fs	G-1	G-5	G-6	G-L
400	0,0176	0,0139	0,0183	0,0176
500	0,0212	0,0168	0,0223	0,0212
600	0,0249	0,0194	0,0263	0,0249
700	0,0294	0,0217	0,0304	0,0294
800	0,0361	0,0241	0,0348	0,0361
900	0,0473	0,0275	0,0398	0,0473
1000	0,0682	0,0362	0,0465	0,0682
1100	0,1024	0,0681	0,0736	0,1024
1200	0,1387	0,1017	0,1079	0,1387
1300	0,1663	0,1143,	0,1198	0,1663
1400	0,1869	0,1254	0,1274	0,1869
1500	0,2033	0,1353	0,1336	0,2033
1600	0,2169	0,1444	0,1392	0,2247
1700	0,2284	0,1525	0,1442	0,2446
1800	0,2385	0,1594	0,1488	0,2639
1900	0,2473	0,1651	0,1527	0,2831
2000	0,2553	0,1696	0,1560	0,3023
2100	0,2627	0,1731	0,1586	0,3215
2200	0,2697	0,1761	0,1606	0,3408
2300	0,2762	0,1789	0,1622	0,3600
2400	0,2829	0,1816	0,1635	0,3792
2500	0,2894	0,1843	0,1643	0,3985
2600	0,2959	0,1869	0,1649	0,4177
2700	0,3027	0,1895	0,1653	0,4370
2800	0,3097	0,1921	0,1654	0,4559
2900	0,3168	0,1947	0,1654	0,4754
3000	0,3243	0,1973	0,1654	0,4927
3100	0,3321	0,1999	0,1654	0,5129
3200	0,3400	0,2024	0,1655	0,5330
3300	0,3482	0,2050	0,1656	0,5523
3400	0,3568	0,2075	0,1658	0,5716
3500	0,3657	0,2109	0,1661	0,5907
3600	0,3748	0,2125	0,1664	0,6090
3700	0,3841	0,2150	0,1668	
3800	0,3936	0,2175	0,1672	
3900	0,4030	0,2200	0,1677	
4000	0,4125	0,2225	0,1683	
4100	0,4221	0,2250	0,1688	
4200	0,4320	0,2275	0,1694	
4300	0,4418	0,2299	0,1700	
4400	0,4516	0,2324		

Le tavole sono formate da cinque colonne di dati. La prima colonna -V- indica le velocità decrescenti di dieci in dieci piedi a partire da 3600 piedi (1097 m/s). Le tavole non sono state estese a velocità iniziali superiori poiché l'esperienza ha dimostrato che oltre tale misura il comportamento di ogni proiettile è alquanto individuale. La seconda colonna -S- indica, in piedi, lo spazio percorso in rapporto alla diminuzione di velocità verificatasi. La colonna -I- indica in secondi il tempo impiegato a percorrere lo spazio indicato dalla colonna S. Le colonne A ed I (mancanti per la tavola G-5) sono valori aggiuntivi che servono per calcolare l'angolo di proiezione.

Interpolazione

I dati tabulati sono relativi a variazioni di velocità di 10 piedi in 10 piedi al secondo; se si deve eseguire un calcolo relativo ad una velocità intermedia deve farsi ricorso alla cosiddetta interpolazione. Si prendano ad esempio i primi dati della tavola G-1

	V			S	
	3600			0,00	
(m)	3590		(p)	26,72	
		d=10			D= 26,78
(n)	3580		(q)	53,50	

e si voglia calcolare il valore di S per V = 3586; se si suppone che nell'intervallo considerato la variazione di S sia lineare, si potrà ritenere che S vari in proporzione al variare di V e che quindi ad una variazione di V di 6/10 corrisponda una eguale variazione di S. Poiché 53,50-26,72 = 26,78 si avrà una variazione pari a

$$\frac{6}{10} \cdot 26{,}78 = 16{,}068$$

e il valore cercato sarà perciò

$$S = 53{,}50 - 16{,}068 = 37{,}43$$

In via generale, assegnati ai valori i simboli sopra tra parentesi e chiamata -e- la differenza tra la velocità data ed (n), la formula che fornisce il valore di S in relazione ad un valore non tabulato di V sarà

$$S = q - \frac{D \cdot e}{d}$$

Esempio, eguale al precedente:
e=6; q=53,50; d=10; D= 26,28

$$S = 53{,}50 - \frac{26{,}28 \cdot 6}{10} = 37{,}43$$

Sia ora da eseguire il calcolo inverso e cioè, noto un certo valore di S non tabulato, trovare il valore corrispondente di V.
Sia ad esempio S=40 e si voglia trovare V
Sulla base di considerazioni analoghe alle precedenti si ricava la formula generale

$$V = n + \frac{e \cdot d}{D}$$

ove -e- indica il decremento rispetto a –q-.
Esempio
D=10; D=26,78; e=53,50 – 40= 13,50;

$$V = 3580 + \frac{13{,}50 \cdot 10}{16{,}78} = 3585$$

Le formule sopra indicate servono anche per il calcolo delle altre colonne T-A-I

Problemi risolvibili
Vediamo ora quali siano i problemi risolvibili mediante l'aiuto delle tavole di ritardazione del Lowry (ma nulla cambia se si usano le tavole di Ingalls).
I) Trovare il coefficiente balistico (quello relativo alle Tavole del Lowry) di un proiettile, nota la perdita di velocità subita nel percorrere un determinato tragitto.
Chiamato X il tratto percorso dal proiettile, *Sc,* il valore tabulare relativo alla velocità all'inizio del tratto e *So* il valore di S relativo alla velocità finale, il coefficiente balistico *C* sarà dato da

$$C = \frac{X}{S_c - S_o}$$

Esempio: Trovare il coeff. bal. del proiettile ca. 7x64 HMK sapendo che
V_0 = 850 m/s , V_{150} = 725 m/s. La tavola da usarsi è la G-1

Per prima cosa convertiamo in piedi i valori dati
V_0 = 2788 fs , V_{150} = 2378 fs; X= 499,12 f
In corrispondenza alla velocità di 2788 f/s troviamo un valore di S compreso tra 2387,44 e 2419,85; interpolando si avrà

$$S = 2419{,}85 - \frac{32{,}41 \cdot 8}{10} = 2393{,}22$$

In relazione alla velocità di 2378,58 f/s , interpolando, si trova Sc = 3783,029
e quindi

$$C = \frac{492{,}12}{3783{,}029 - 2393{,}22} = 0{,}354$$

Noto il coefficiente balistico, si può trovare il valore "i" con la formula indicata in precedenza. \
Esempio:
Il peso del proiettile 7x64 è di kg 0,0112

$$i = \frac{0{,}0112 \cdot 14{,}22}{0{,}354 \cdot 0{,}7^2} = 0{,}9$$

Si ricorda che il valore di "i" varia leggermente con il variare della velocità e che perciò il valore del coefficiente balistico va calcolato in relazione ad un tratto piuttosto breve e per velocità prossime a quelle su cui si baseranno i calcoli successivi (ad esempio se il calcolo precedente fosse stato eseguito per X=300 m. si sarebbe ottenuto i = 0,88 (Cb=0,3688) e il calcolo mediante le tavole, di V_{150} avrebbe dato 730 m/s con un errore di 5 m/s).

II) Trovare la velocità residua dopo che il proiettile ha percorso la distanza X, noti la velocità all'inizio del tratto e il coefficiente balistico.
Usando gli stessi simboli impiegati nel problema I), la formula sarà

$$S_c = S + \frac{X}{C}$$

Esempio (Tavola G1)

Sia V_0 = 850 ms (2788 fs); X= 300m (984,24 f); C= 0,3688

Il valore di S corrispondente a V_0 2788 = 2393,22
Il valore di S alla distanza di 300 metri sarà

$$S_c = 2393{,}22 + \frac{984{,}24}{0{,}3668} = 5061{,}98$$

Il valore di V relativo ad S = 5061,98 sarà dato, interpolando, da

$$V_{300} = 2040 + \frac{21{,}92 \cdot 10}{38{,}66} = 2046{,}5\,fs = 623\,m/s$$

Il valore indicato dalla casa produttrice è di 620 m/s.

III) Trovare il tempo di volo –t- noti il coefficiente balistico, la velocità iniziale e lo spazio percorso.
In primo luogo occorre trovare la velocità residua V come mostrato nel problema II); noti quindi Vo e Vc si leggono dalle tavole i corrispondenti valori di To e di Tc; il tempo di volo sarà dato da

$$t = C(T_c - T_0)$$

Esempio:
Sia da trovare il tempo di volo impiegato a percorrere 300 metri dal proiettile di cui ai problemi I) e II).
V_0 = 850 m/s. (2788 fs); X = 300 m (984,24 f) ; C = 0,3688
Dal problema precedente sappiamo che Vc = 2046,5 fs
Il valore di T corrispondente alla velocità di 2788 fs è compreso tra 0,756 e 0,768 sec; interpolando

$$T_0 = 0{,}768 - \frac{0{,}012 \cdot 8}{10} = 0{,}7584\,s$$

Il valore di T corrispondente alla velocità di 2046,5 fs sarà (con valore tabulare di T=1,874)

$$T_c = 1{,}874 - \frac{0{,}019 \cdot 6{,}5}{10} = 1{,}861$$

e quindi

$$t = 0{,}3688 \cdot (1{,}861 - 0{,}7584) = 0{,}406\,s$$

La casa produttrice indica il valore di 0,411 secondi. Dai tempi di volo si può quindi calcolare direttamente il coefficiente balistico, senza prima risalire alle velocità V_0 e V_c

IV) Trovare la velocità iniziale noti il coefficiente balistico e la velocità finale al termine del percorso X
Il valore di S_0 sarà dato dalla formula

$$S_0 = S_c - \frac{X}{C}$$

E il valore di V relativo al valore di S trovato, ci darà la velocità cercata.
Esempio:
Siano noti, sempre con riferimento al proiettile usato negli esempi precedenti,
V_{100}= 620 ms (2034 fs); X = 300 m (984,24 f);

Il valore di S_c relativo alla velocità di 2034 f/s è 5060,3 da cui

$$S_0 = 5060{,}3 - \frac{984{,}24}{0{,}3688} = 2391{,}5$$

$$V_0 = 2788{,}7\, fs = 850\, m/s$$

V) Trovare l'angolo di proiezione relativo ad una data gittata; noti la velocità iniziale e il coefficiente balistico.
Per questo calcolo occorre usare anche le colonne A ed I delle tavole secondo la seguente formula:

$$sen\varphi = \left(\frac{A_c - A_0}{S_c - S_0} - I_0\right) \cdot \frac{C}{2}$$

Sarà quindi necessario:
- trovare i valori di S_0, A_0, I_0 corrispondenti a V_0
- trovare il valore di $S_c = S_0 + \frac{X}{C}$
-trovare il valore A_c corrispondente a S_c
Esempio:
Quale è l'angolo di proiezione per il proiettile 8 x 57 JS e la gittata di 1500 metri? Sia quindi
X = 1500 m. (4921,2 f); V_0 = 755 m/s .(2477 fs); V_{1500} = 283 ms. (928,5 fs)
C = 0,553 (il coefficiente all'origine è pari a 0,59, ma stante la lunga gittata esso diminuisce un poco).
In corrispondenza alla velocità di 2477 fs, interpolando, si ottiene

S_0 = 437,285
A_0 = 145,84
I_0 = 0,056578
In corrispondenza alla velocità di caduta (ricavata da tavole o con la formula di cui al problema II) di 928,5 fs si ottiene
Sc = 12330; A_0 = 1655,46 (fare attenzione nell'interpolare: d=1 e non = 10 !) da cui

$$sen\varphi = \frac{1655{,}46 - 145{,}84}{12330 - 3437{,}285} - 0{,}056578 \cdot \frac{0{,}553}{2} = 0{,}00312945$$

e cioè $\varphi = 1°47'36"$
Il valore indicato dalle tavole dell'esercito è di 1 47'

VI) Trovare la gittata, noti la velocità iniziale, la velocità finale, l'angolo di proiezione e il coefficiente balistico.
La soluzione è data dalla formula

$$X = C \cdot cos\varphi(S_c - S_0)$$

Esempio:
Siano noti i dati già calcolati nel problema V
C = 0,553
So = 3437,285
S_{1500} = 12330
φ= 1° 47' 36"

$$X = 0{,}553 \cdot cos1°47'36" \cdot (12330 - 3437{,}285) = 4915{,}26\,f$$
$$= 1498\,m$$

La formula indicata può servire in via molto approssimativa / a calcolare la gittata massima di un proiettile per arma leggera se si conosce la velocità di caduta in quanto, come abbiamo visto nell'apposito capitolo, già con angoli di proiezione inferiori a 5° si raggiungono gittate che poco si discostano da quella massima.
Esempio:
Se per il proiettile 8x57JS si assume una velocità di caduta pari a 300 fs, con un angolo di proiezione di 5° si avrà
X= 0,553 • cos 5° (38065 - 3437) = 19076 f = 5800 metri
NB: nelle tavole del Lovry il punto sta in luogo della nostra virgola! Il punto all'inizio di un numero (.22) sta per 0,

Correzioni per adattare le tavole alle effettive condizioni atmosferiche

Nel sistema di calcolo adottato e relativo a condizioni standard di 15° centigradi, 750 mm. di pressione e 78% di umidità relativa (kg 1,203 per m^3), le diverse condizioni atmosferiche modificano esclusivamente il coefficiente balistico. Sarà quindi sufficiente, in tutte le formule precedenti, moltiplicare C per il fattore di correzione indicato nella tabella che segue.
Esempio:
Sia da calcolare una traiettoria alla pressione atmosferica di 730 mm. ed alla temperatura di 20 gradi.
In corrispondenza ai due valori si legge nella tabella il fattore di correzione 0,956.
Se il coefficiente balistico C in condizioni standard era C=0,533, il coefficiente balistico corretto sarà dato da 0,553 x 0,956 = 0,528

Temp.	Pressione in millimetri di mercurio					
(°C)	720	730	740	750	760	770
-10	1,051	1,066	1,080	1,095	1,109	1,124
-9	1,047	1,062	1,076	1,091	1,105	1,120
-8	1,043	1,058	1,072	1,086	1,101	1,115
-7	1,039	1,054	1,068	1,082	1,097	1,111
-6	1,035	1,050	1,064	1,078	1,093	1,107
-5	1,031	1,046	1,060	1,074	1,090	1,103
-4	1,027	1,042	1,056	1,070	1,085	1,099
-3	1,024	1,038	1,052	1,066	1,081	1,095
-2	1,020	1,034	1,048	1,062	1,077	1,091
-1	1,016	1,030	1,044	1,058	1,073	1,087
0	1,012	1,026	1,041	1,055	1,069	1,083
1	1,009	1,023	1,037	1,051	1,065	1,079
2	1,005	1,019	1,033	1,047	1,061	1,075
3	1,001	1,015	1,029	1,043	1,057	1,071
4	0,998	1,012	1,025	1,039	1,053	1,067
5	0,994	1,008	1,022	1,035	1,049	1,063
6	0,991	1,004	1,018	1,032	1,046	1,059
7	0,987	1,001	1,014	1,028	1,042	1,056
8	0,984	0,997	1,011	1,024	1,038	1,052
9	0,980	0,994	1,007	1,021	1,034	1,048
10	0,977	0,990	1,004	1,017	1,031	1,044

11	0,974	0,986	1,000	1,014	1,027	1,041
12	0,969	0,984	0,997	1,010	1,024	1,037
13	0,966	0,980	0,993	1,007	1,020	1,034
14	0,963	0,976	0,990	1,003	1,017	1,030
15	0,960	0,973	0,986	1,000	1,013	1,026
16	0,956	0,969	0,983	0,996	1,009	1,023
17	0,953	0,966	0,979	0,993	1,006	1,019
18	0,950	0,963	0,976	0,989	1,003	1,016
19	0,946	0,960	0,973	0,986	0,999	1,012
20	0,943	0,956	0,969	0,983	0,996	1,009
21	0,940	0,953	0,966	0,979	0,993	1,005
22	0,937	0,950	0,963	0,976	0,989	1,002
23	0,934	0,946	0,960	0,973	0,986	0,998
24	0,931	0,944	0,956	0,969	0,983	0,995
25	0,927	0,941	0,953	0,966	0,979	0,992
26	0,924	0,937	0,950	0,963	0,976	0,988
27	0,922	0,934	0,947	0,960	0,973	0,985
28	0,918	0,931	0,944	0,956	0,969	0,982
29	0,915	0,928	0,941	0,953	0,966	0,979
30	0,912	0,925	0,937	0,950	0,963	0,975
31	0,909	0,922	0,934	0,947	0,954	0,972
32	0,906	0,919	0,931	0,944	0,956	0,969
33	0,903	0,916	0,928	0,941	0,953	0,966
34	0,900	0,913	0,927	0,938	0,950	0,963

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
3600	0.00	.000	0.00	.03138
3590	26.72	.007	0.84	.03151
3580	53.50	.015	1.69	.03164
3570	80.34	.023	2.54	.03178
3560	107.26	.031	3.40	.03192
3550	134.24	.039	4.26	.03206
3540	161.28	.047	5.13	.03220
3530	188.40	.055	6.00	.03234
3520	215.58	.063	6.88	.03248
3510	242.82	.071	7.77	.03262
3500	270.14	.079	8.66	.03276
3490	297.52	.087	9.56	.03291
3480	324.96	.095	10.47	.03306
3470	352.48	.103	11.38	.03321
3460	380.06	.111	12.30	.03336
3450	407.71	.119	13.22	.03351
3440	435.43	.127	14.15	.03366
3430	463.21	.135	15.09	.03381
3420	491.07	.143	16.03	.03396
3410	518.99	.151	16.98	.03411
3400	546.99	.159	17.94	.03426
3390	575.05	.167	18.90	.03442
3380	603.17	.175	19.87	.03458
3370	631.37	.183	20.85	.03474
3360	659.63	.191	21.83	.03490
3350	687.97	.199	22.82	.03506
3340	716.37	.208	23.82	.03522
3330	744.85	.217	24.83	.03538
3320	773.39	.226	25.84	.03554
3310	802.01	.235	26.86	.03571
3300	830.69	.244	27.89	.03588
3290	859.45	.252	28.92	.03605
3280	888.27	.261	29.96	.03622
3270	917.17	.270	31.01	.03639
3260	946.13	.279	32.07	.03657
3250	975.16	.288	33.13	.03675
3240	1004.26	.297	34.20	.03693
3230	1033.42	.306	35.28	.03711
3220	1062.66	.315	36.37	.03729

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
3210	1091.97	.324	37.47	.03747
3200	1121.35	.333	38.58	.03765
3190	1150.81	.342	39.69	.03784
3180	1180.33	.351	40.81	.03803
3170	1209.93	.360	41.94	.03822
3160	1239.59	.369	43.08	.03841
3150	1269.33	.378	44.22	.03860
3140	1299.13	.388	45.37	.03879
3130	1329.01	.398	46.53	.03898
3120	1358.95	.408	47.70	.03918
3110	1338.97	.418	48.88	.03938
3100	1419.05	.428	50.07	.03958
3090	1449.20	.438	51.27	.03978
3080	1479.43	.448	52.48	.03998
3070	1509.73	.458	53.70	.04019
3060	1540.09	.468	54.92	.04040
3050	1570.53	.478	56.15	.04061
3040	1601.03	.488	57.39	.04082
3030	1631.61	.498	58.64	.04103
3020	1662.27	.508	59.90	.04125
3010	1693.01	.518	61.17	.04147
3000	1723.81	.528	62.45	.04169
2990	1754.69	.538	63.74	.04191
2980	1785.63	.548	65.04	.04213
2970	1816.65	.558	66.35	.04236
2960	1847.75	.568	67.67	.04259
2950	1878.92	.578	69.00	.04282
2940	1910.16	.589	70.34	.04305
2930	1941.47	.600	71.69	.04328
2920	1972.85	.611	73.05	.04352
2910	2004.30	.622	74.42	.04376
2900	2035.83	.633	75.81	.04400
2890	2067.44	.644	77.21	.04424
2880	2099.11	.655	78.62	.04449
2870	2130.86	.666	80.04	.04474
2860	2162.67	.677	81.47	.04499
2850	2194.56	.688	82.91	.04524
2840	2226.53	.699	84.36	.04549
2830	2258.56	.710	85.82	.04575

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2820	2290.67	.721	87.29	.04601
2810	2322.85	.733	88.77	.04627
2800	2355.11	.745	90.26	.04653
2790	2387.44	.756	91.77	.04680
2780	2419.85	.768	93.29	.04707
2770	2452.32	.780	94.82	.04734
2760	2484.87	.792	96.37	.04761
2750	2517.49	.804	97.93	.04789
2740	2550.19	.816	99.50	.04817
2730	2582.97	.828	101.08	.04845
2720	2615.82	.840	102.68	.04873
2710	2648.75	.852	104.29	.04902
2700	2681.74	.864	105.91	.04931
2690	2714.81	.876	107.54	.04960
2680	2747.96	.888	109.19	.04990
2670	2781.18	.900	110.85	.05020
2660	2814.48	.912	112.53	.05050
2650	2847.86	.925	114.22	.05080
2640	2881.31	.938	115.93	.05111
2630	2914.83	.951	117.65	.05142
2620	2948.43	.964	119.38	.05173
2610	2982.11	.977	121.13	.05205
2600	3015.86	.990	122.89	.05237
2590	3049.69	1.003	124.67	.05269
2580	3083.59	1.016	126.46	.05302
2570	3117.57	1.029	128.27	.05335
2560	3151.63	1.042	130.09	.05368
2550	3185.76	1.055	131.93	.05402
2540	3219.97	1.068	133.78	.05436
2530	3254.26	1.082	135.65	.05470
2520	3288.63	1.096	137.54	.05505
2510	3323.07	1.110	139.44	.05540
2500	3357.59	1.124	141.36	.05575
2490	3392.19	1.138	143.30	.05611
2480	3426.86	1.152	145.25	.05647
2470	3461.61	1.167	147.22	.05683
2460	3496.44	1.182	149.21	.05720
2450	3531.35	1.197	151.21	.05757

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2440	3566.34	1.212	153.23	.05795
2430	3601.41	1.227	155.27	.05833
2420	3636.56	1.242	157.33	.05872
2410	3671.79	1.257	159.40	.05911
2400	3707.11	1.272	161.49	.05950
2390	3742.50	1.287	163.60	.05990
2380	3777.98	1.302	165.73	.06030
2370	3813.54	1.317	167.88	.06071
2360	3849.18	1.332	170.05	.06112
2350	3884.91	1.347	172.24	.06153
2340	3920.72	1.362	174.45	.06195
2330	3956.61	1.377	176.68	.06237
2320	3992.59	1.392	178.93	.06280
2310	4028.66	1.408	181.21	.06323
2300	4064.82	1.424	183.51	.06367
2290	4101.06	1.440	185.83	.06411
2280	4137.39	1.456	188.17	.06456
2270	4173.80	1.472	190.53	.06501
2260	4210.30	1.488	192.91	.06547
2250	4246.89	1.504	195.31	.06593
2240	4283.56	1.520	197.74	.06640
2230	4320.33	1.536	200.19	.06687
2220	4357.18	1.553	202.66	.06735
2210	4394.13	1.570	205.15	.06783
2200	4431.16	1.587	207.67	.06832
2190	4468.29	1.604	210.22	.06882
2180	4505.51	1.621	212.79	.06932
2170	4542.82	1.638	215.39	.06983
2160	4580.23	1.655	218.01	.07034
2150	4617.74	1.672	220.66	.07086
2140	4655.34	1.690	223.33	.07139
2130	4693.04	1.708	226.03	.07192
2120	4730.84	1.726	228.76	.07246
2110	4768.74	1.744	231.52	.07300
2100	4806.76	1.762	234.30	.07355
2090	4844.88	1.780	237.11	.07411
2080	4883.10	1.798	239.95	.07467
2070	4921.42	1.817	242.82	.07524

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2060	4959.81	1.836	245.72	.07582
2050	4998.40	1.855	248.65	.07641
2040	5037.06	1.874	251.62	.07700
2030	5075.82	1.893	254.62	.07760
2020	5114.70	1.912	257.65	.07821
2010	5153.68	1.931	260.71	.07883
2000	5192.78	1.950	263.81	.07946
1990	5232.01	1.970	266.94	.08009
1980	5271.36	1.990	270.10	.08073
1970	5310.83	2.010	273.30	.08138
1960	5350.42	2.030	276.54	.08204
1950	5390.13	2.050	279.81	.08271
1940	5429.29	2.070	283.12	.08339
1930	5469.95	2.091	286.47	.08408
1920	5510.06	2.112	289.86	.08477
1910	5550.30	2.133	293.28	.08548
1900	5590.67	2.154	296.75	.08620
1890	5631.18	2.175	300.26	.08692
1880	5671.83	2.197	303.81	.08766
1870	5712.62	2.219	307.40	.08841
1860	5753.54	2.241	311.03	.08917
1850	5794.62	2.263	314.71	.08994
1840	5835.85	2.285	318.43	.09072
1830	5877.23	2.308	322.20	.09151
1820	5918.76	2.331	326.02	.09231
1810	5960.45	2.354	329.89	.09312
1800	6002.31	2.377	333.80	.09394
1790	6044.33	2.401	337.76	.09478
1780	6086.51	2.425	341.78	.09563
1770	6128.87	2.449	345.85	.09650
1760	6171.40	2.473	349.97	.09738
1750	6214.11	2.497	354.15	.09827
1740	6257.01	2.522	358.39	.09918
1730	6300.10	2.547	362.68	.10010
1720	6343.37	2.572	367.03	.10103
1710	6386.84	2.597	371.44	.10198
1700	6430.52	2.622	375.91	.10295

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1690	6474.39	2.648	380.45	.10393
1680	6518.48	2.674	385.05	.10493
1670	6562.78	2.701	389.72	.10594
1660	6607.30	2.728	394.46	.10697
1650	6652.06	2.755	399.27	.10802
1640	6697.04	2.782	404.15	.10909
1630	6742.26	2.810	409.11	.11018
1620	6787.73	2 .838	414.14	.11129
1610	6833.45	2.866	419.25	.11242
1600	6879.41	2.894	424.44	.11357
1590	6925.65	2.923	420.72	.11474
1580	6972.15	2.952	435.08	.11593
1570	7018.93	2.982	440.53	.11715
1560	7066.01	3.012	446.07	.11839
1550	7103.39	3.042	451.71	.11965
1540	7161.08	3.073	457.45	.12093
1530	7209.08	3.104	463.29	.12223
1520	7257.39	3.136	469.24	.12357
1510	7306.03	3.168	475.29	.12493
1500	7355.03	3.201	481.45	.12632
1490	7404.39	3.235	487.72	.12774
1480	7454.13	3.269	494.11	.12919
1470	7504.25	3.303	500.62	.13067
1460	7554.77	3.338	507.26	.13218
1450	7605.69	3.373	514.03	.13373
1440	7657.03	3.408	520.94	.13531
1430	7708.82	3.444	527.99	.13693
1420	7761.07	3.480	535.19	.13859
1410	7813.80	3.517	542.54	.14028
1400	7867.04	3.555	550.05	.14202
1390	7920.81	3.594	557.73	.14380
1380	7975.12	3.633	565.59	.14562
1370	8029.99	3.673	573.63	.14749
1360	8085.46	3.713	581.86	.14940
1350	8141.56	3.754	590.30	.15137
1340	8198.32	3.796	598.95	.15339
1330	8255.77	3.839	607.82	.15546
1320	8313.95	3.883	616.93	.15759
1310	8372.88	3.928	626.28	.15978

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1300	8432.61	3.974	635.89	.16203
1290	8493.20	4.021	645.75	.16435
1280	8554.69	4.069	655.89	.16675
1270	8617.14	4.118	666.38	.16922
1260	8680.62	4.168	677.20	.17177
1250	8745.18	4.219	688.38	.17441
1240	8810.9	4.272	699.93	.17714
1230	8877.9	4.326	711.89	.17996
1220	8946.2	4.382	724.28	.18289
1210	9015.9	4.439	737.14	.18593
1200	9087.2	4.499	750.51	.18909
1199	9094.5	4.505	751.87	.18941
1198	9101.7	4.511	753.24	.18973
1197	9109.0	4.517	754.62	.19006
1196	9116.2	4.523	756.00	.19039
1195	9123.5	4.529	757.39	.19072
1194	9130.8	4.535	758.79	.19105
1193	9138.1	4.541	760.19	.19138
1192	9145.5	4.547	761.60	.19171
1191	9152.8	4.553	763.01	.19204
1190	9160.2	4.560	764.43	.19237
1189	9167.6	4.566	765.86	.19271
1188	9175.0	4.572	767.29	.19305
1187	9182.5	4.578	768.73	.19339
1186	9189.9	4.585	770.17	.19373
1185	9197.4	4.591	771.62	.19407
1184	9204.9	4.597	773.08	.19441
1183	9212.4	4.604	774.54	.19475
1182	9219.9	4.610	776.01	.19510
1181	9227.4	4.616	777.48	.19545
1180	9235.0	4.623	778.96	.19580
1179	9242.6	4.629	780.44	.19615
1178	9250.2	4.635	781.93	.19650
1177	9257.8	4.641	783.43	.19685
1176	9265.4	4.647	784.93	.19721
1175	9273.1	4.653	786.44	.19757
1174	9280.8	4.660	787.96	.19793
1173	9288.5	4.667	789,49	.19829
1172	9296.2	4.674	781.02	.19865

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1171	9303.9	4.681	792.56	.19901
1170	9311.7	4.788	794.11	.19937
1169	9319.5	4.694	795.66	.19974
1168	9327.3	4.701	797.22	.20011
1167	9335.2	4.707	798.79	.20048
1166	9343.0	4.714	800.37	.20085
1165	9350.9	4.721	801.95	.20122
1164	9358.8	4.728	803.54	.20159
1163	9366.7	4.735	805.14	.20197
1162	9374.6	4.742	806.74	.20235
1161	9382.6	4.749	808.35	.20273
1160	9390.6	4.756	809.97	.20311
1159	9398.6	4.763	811.60	.20349
1158	9406.6	4.770	813.24	.20387
1157	9414.7	4.777	814.88	.20426
1156	9422.7	4.784	816.53	.20465
1155	9430.8	4.791	818.19	.20504
1154	9439.0	4.798	819.86	.20543
1153	9447.1	4.805	821.54	.20582
1152	9455.3	4.812	823.22	.20622
1151	9463.5	4.819	824.91	.20662
1150	9471.7	4.826	826.61	.20702
1149	9479.9	4.833	828.32	.20742
1148	9488.2	4.840	830.04	.20782
1147	9496.5	4.847	831.77	.20823
1146	9504.8	4.354	833.50	.20864
1145	9513.2	4.862	835.24	.20905
1144	9521.5	4.869	836.99	.20946
1143	9529.9	4.876	838.75	.20987
1142	9538.4	4.884	840.52	.21028
1141	9546.8	4.891	842.30	.21070
1140	9555.3	4.899	844.09	.21112
1139	9563.8	4.906	845.89	.21154
1138	9572.4	4.913	847.70	.21196
1137	9580.9	4.921	849.52	.21239
1136	9589.5	4.928	851.35	.21282
1135	9598.1	4.936	853.19	.21325
1134	9606.8	4.943	855.03	.21368
1133	9615.4	4.951	856.88	.21411
1132	9624.1	4.959	858.74	.21455

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1131	9632.9	4.967	860.61	.21499
1130	9641.6	4.975	862.49	.21543
1129	9650.4	4.982	864.38	.21587
1128	9659.2	4.990	866.28	.21632
1127	9668.1	4.998	868.20	.21677
1126	9677.0	5.006	870.13	.21722
1125	9685.9	5.014	872.07	.21767
1124	9694.8	5.022	874.02	.21812
1123	9703.8	5.030	875.98	.21858
1122	9712.8	5.038	877.95	.21904
1121	9721 .8	5.046	879.93	.21950
1120	9730.9	5.054	881.92	.21996
1119	9740.0	5.062	883.92	.22043
1118	9749.1	5.070	885.93	.22090
1117	9758.2	5.078	887.95	.22137
1116	9767.4	5.087	889.99	.22184
1115	9776.6	5.095	892.04	.22232
1114	9785.9	5.103	894.10	.22280
1113	9795.2	5.112	896.17	.22328
1112	9804.5	5.120	898.25	.22376
1111	9813.9	5.128	900.35	.22425
1110	9823.2	5.137	902.46	.22474
1109	9832.7	5.145	904.58	.22523
1108	9842.1	5.154	906.71	.22573
1107	9851.6	5.162	908.85	.22623
1106	9861.1	5.171	911.01	.22673
1105	9870.7	5.179	913.18	.22723
1104	9880.3	5.188	915.36	.22774
1103	9889.9	5.197	917.56	.22825
1102	9899.6	5.206	919.77	.22876
1101	9909.3	5.215	921.99	.22927
1100	9919.0	5.224	924.22	.22979
1099	9928.8	5.233	926.47	.23031
1098	9938.6	5.242	928.73	.23083
1097	9948.4	5.251	931.01	.23136
1096	9958.3	5.260	933.30	.23189
1095	9968.3	5.269	935.60	.23242
1094	9978.2	5.278	937.92	.23295
1093	9988.2	5.287	940.25	.23349

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1092	9998.3	5.296	942.60	.23403
1091	10008.3	5.315	944.96	.23457
1090	10018.4	5.315	947.33	.23512
1089	10028.6	5.324	949.73	.23567
1088	10038.8	5.333	952.14	.23622
1087	10049.0	5.342	954.56	.23678
1086	10059.3	5.351	956.99	.23734
1085	10069.6	5.360	959.43	.23790
1084	10080.0	5.370	961.90	.23847
1083	10090.3	5.380	964.38	.23904
1082	10100.8	5.390	966.88	.23961
1081	10111.3	5.400	969.39	.24019
1080	10121.8	5.410	971.92	.24077
1079	10132.4	5.420	974.47	.24135
1078	10143.0	5.430	977.03	.24194
1077	10153.6	5.440	979.61	.24253
1076	10164.3	5.450	982.21	.24312
1075	10175.0	5.460	984.82	.24372
1074	10185.8	5.470	987.45	.24432
1073	10196.6	5.480	990.10	.24492
1072	10207.5	5.490	992.76	.24553
1070	10229.3	5.510	998.13	.24676
1069	10240.3	5.520	1000.85	.24738
1068	10251.3	5.530	1003.58	124800
1067	10262.4	5.540	1006.33	.24862
1066	10273.5	5.550	1009.10	.24925
1065	10284.7	5.560	1011.89	.24988
1064	10295.9	5.571	1014.70	.25052
1063	10307.2	5.582	1017.53	.25116
1062	10318.5	5.593	1020.37	.25181
1061	10329.9	5.604	1023.23	.25246
1060	10341.3	5.615	1026.11	.25311
1059	10352.8	5.626	1029.01	.25377
1058	10364.2	5.637	1031.93	.25443
1057	10375.8	5.648	1034.87	.25509
1056	10387.4	5.659	1037.83	.25576
1055	10399.0	5.670	1040.81	.25643
1054	10410.7	5.681	1043.82	.25711
1053	10422.5	5.692	1046.84	.25779

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1052	10434.2	5.703	1049.88	.25847
1051	10446.1	5.714	1052.95	.25916
1050	10458.0	5.726	1056.04	.25985
1049	10469.9	5.737	1059.15	.26055
1048	10481.9	5.748	1062.28	.26125
1047	10494.0	5.759	1065.43	.26195
1046	10506.0	5.770	1068.60	.26266
1045	10518.2	5.782	1071.79	.26337
1044	10530.4	5.794	1075.00	.26409
1043	10542.6	5.806	1078.24	.26481
1042	10554.9	5.818	1081.50	.26554
1041	10567.2	5.830	1094.78	.26627
1040	10579.6	5.842	1088.08	.26701
1039	10592.1	5.854	1091.41	.26775
1038	10604.6	5.866	1094.76	.26849
1037	10617.1	5.878	1098.13	.26924
1036	10629.7	5.890	1101.53	.27000
1035	10642.4	5.902	1104.95	.27076
1034	10655.1	5.914	1108.40	.27153
1033	10667.8	5.926	1111.87	.27230
1032	10680.7	5.939	1115.36	.27307
1031	10693.5	5.952	1118.88	.27385
1030	10706.4	5.965	1122.43	.27463
1029	10719.4	5.977	1126.00	.27542
1028	10732.4	5.990	1129.60	.27621
1027	10745.5	6.003	1133.22	.27701
1026	10758.7	6.016	1136.87	.27781
1025	10771.9	6.029	1140.54	.27862
1024	10785.1	6.042	1144.24	.27943
1023	10798.4	6.055	1147.96	.28025
1022	10811.8	6.068	1151.71	.28107
1021	10825.2	6.081	1155.47	.28190
1020	10838.7	6.094	1159.28	.28273
1019	10852.2	6.107	1163.11	.28357
1018	10865.8	6.120	1166.97	.28441
1017	10879.5	6.133	1170.86	.28526
1016	10893.2	6.146	1174.77	.28611
1015	10906.9	6.160	1178.70	.28697

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1014	10920.7	6.174	1182.67	.28783
1013	10934.6	6.188	1186.67	.28870
1012	10948.5	6.202	1190.70	.28957
1011	10962.5	6.216	1194.76	.29045
1010	10976.6	6.230	1198.85	.29133
1009	10990.7	6.244	1202.97	.29222
1008	11004.8	6.258	1207.11	.29312
1007	11019.0	6.272	1211.28	.29402
1006	11033.3	6.286	1215.48	.29493
1005	11047.7	6.300	1219.72	.29584
1004	11062.1	6.314	1223.99	.29676
1003	11076.5	6.328	1228.29	.29768
1002	11091.1	6.343	1232.62	.29861
1001	11105.6	6.358	1236.98	.29955
1000	11120.3	6.373	1241.37	.30049
999	11135.0	6.388	1245.79	.30144
998	11149.7	6.403	1250.24	.30239
997	11164.5	6.418	1254.73	.30335
996	11179.4	6.433	1259.25	.30431
995	11194.3	6.449	1263.80	.30528
994	11209.3	6.463	12-68.39	.30625
993	11224.4	6.478	1273.01	.30723
992	11239.5	6.493	1277.66	.30822
991	11254.7	6.508	1282.35	.30921
990	11269.9	6.523	1287.07	.31021
989	11285.2	6.538	1291.83	.31121
988	11300.6	6.553	1296.62	.31222
987	11316.0	6.569	1301.44	.31324
986	11331.5	6.583	1306.30	.31426
985	11347.1	6.601	1311.19	.31529
984	11362.7	6.617	1316.12	.31633
983	11378.4	6.633	1321.09	.31737
982	11394.1	6.649	1326.09	.31842
981	11409.0	6.665	1331.13	.31948
980	11425.8	6.681	1336.21	.32054
979	11441.7	6.697	1341.32	.32161
978	11457.7	6.713	1346.47	.32268
977	11473.7	6.729	1351.66	.32376
976	11489.8	6.745	1356.88	.32485
975	11506.0	6.762	1362.14	.32594

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
974	11522.2	6.779	1367.44	.32704
973	11538.5	6.796	1372.78	.32815
972	11554.9	6.813	1378.16	.32926
971	11571.3	6.830	1383.58	.33038
970	11587.8	6.847	1389.04	.33151
969	11604.4	6.864	1394.54	.33264
968	11621.0	6.881	1400.08	.33378
967	11637.7	6.898	1405.66	.33493
966	11654.4	6.915	1411.28	.33608
965	11671.2	6.932	1416.94	.33724
964	11688.1	6.950	1422.64	.33841
963	11705.0	6.968	1428.38	.33958
962	11722.1	6.986	1434.16	.34076
961	11739.1	7.004	1439.98	.34195
960	11756.2	7.022	1445.85	.34314
959	11773.4	7.040	1451.76	.34434
958	11790.7	7.058	1457.72	.34555
957	11808.0	7.076	1463.72	.34677
956	11825.4	7.094	1469.76	.34799
955	11842.9	7.112	1475.85	.34922
954	11860.4	7.130	1481.98	.35046
953	11878.0	7.148	1488.16	.35170
952	11859.6	7.167	1494.38	.35295
951	11913.4	7.186	1500.64	.35421
950	11931.1	7.205	1506.94	.35548
949	11949.0	7.224	1513.30	.35675
948	11966.9	7.241	1519.70	.35803
947	11984.9	7.262	1526.15	.35932
946	12002.9	7.281	1532.65	.36062
945	12021.0	7.300	1539.19	.36192
944	12039.2	7.319	1545.78	.36323
943	12057.5	7.338	1552.42	.36455
942	12075.8	7.357	1559.11	.36588
941	12094.1	7.377	1565.84	.36721
940	12112.6	7.397	1562.62	.36855
939	12131.1	7.417	1579.45	.36990
938	12149.6	7.437	1586.33	.37126
937	12168.3	7.457	1593.26	.37262
936	12187.0	7.477	1600.24	.37399

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
935	12205.8	7.497	1607.27	.37537
934	12224.6	7.517	1614.35	.37676
933	12243.5	7.537	1621.49	.37815
932	12262.6	7.557	1628.68	.37955
931	12281.5	7.577	1635.92	.38096
930	12300.6.	7.598	1643.21	.38238
929	12319.8	7.619	1650.55	.38381
928	12339.0	7.640	1659.75	.38524
927	12358.3	7.661	1665.40	.38668
926	12377.7	7.682	1672.90	.38813
925	12397.1	7.703	1680.46	.38959
924	12416.6	7.724	1688.07	.39106
923	12436.2	7.745	1695.74	.39254
922	12455.8	7.766	1703.46	.39402
921	12475.5	7.787	1711.24	.39551
920	12495.2	7.809	1719.07	.39701
919	12515.0	7.831	1726.96	.39852
918	12534.9	7.853	1734.91	.40004
917	12554.9	7.875	1742.91	.40156
916	12574.9	7.897	1750.97	.40309
915	12595.0	7.919	1759.09	.40463
914	12615.2	7.941	1767.27	.40618
913	12635.4	7.963	1775.50	.40774
912	12655.7	7.985	1783.79	.40931
911	12676.1	8.007	1792.14	.41089
910	12696.5	8.029	1800.55	.41248
909	12717.0	8.052	1809.02	.41407
908	12737.6	8.075	1817.55	.41567
907	12758.3	8.098	1826.14	.41728
906	12779.0	8.121	1834.80	.41890
905	12799.7	8.144	1843.52	.42053
904	12820.6	8.167	1852.30	.42217
903	12841.5	8.190	1861.14	.42382
902	12862.4	8.213	1870.05	.42548
901	12883.5	8.236	1879.02	.42715
900	12904.6	8.259	1888.05	.42882
899	12925.7	8.282	1897.15	.43050
898	12947.0	8.306	1906.31	.43219
897	12968.3	8.330	1915.54	.43389

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
896	12989.7	8.354	1924.83	.43560
895	13011.1	8.378	1934.19	.43732
894	13032.6	8.402	1943.61	.43905
893	13054.2	8.426	1953.10	.44079
892	13075.8	8.450	1962.66	.44254
891	13097.5	8.474	1972.28	.44430
890	13119.3	8.498	1981.96	.44606
889	13141.1	8.523	1991.71	.44783
888	13163.0	8.548	2001.54	.44961
887	13185.0	8.573	2011.44	.45140
886	13207.0	8.598	2021.41	.45320
885	13229.1	8.623	2031.45	.45501
884	13251.3	8.648	2041.56	.45683
883	13273.5	8.673	2051.74	.45866
882	13295.8	8.698	2061.99	.46051
881	13318.2	8.723	2072.31	.46237
880	13340.6	8.749	2082.71	.46424
879	13363.2	8.775	2093.18	.46611
878	13385.7	8.801	2103.72	.46799
877	13408.4	8.827	2114.34	.46988
876	13431.1	8.853	2125.03	.47178
875	13453.9	8.879	2135.80	.47369
874	13476.7	8.905	2146.64	.47561
873	13499.6	8.931	2157.56	.47754
872	13522.6	8.957	2168.56	.47948
871	13545.6	8.983	2179.63	.48144
870	13568.7	9.009	2190.78	.48341
869	13591.9	9.036	2202.11	.48538
868	13615.2	9.063	2213.32	.48736
867	13638.5	9.090	2224.70	.48935
866	13661.9	9.117	2236.16	.49135
865	13685.3	9.144	2247.70	.49336
864	13708.8	9.171	2259.32	.49539
863	13732.4	9.198	2271.02	.49742
862	13756.0	9.225	2282.80	.49946
861	13779.7	9.253	2294.67	.50152
860	13803.5	9.281	2306.62	.50359
859	13827.3	9.309	2318.65	.50566
858	13851.2	9.337	2230.76	.50775

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
857	13875.2	9.365	2342.96	.50985
856	13899.3	9.393	2355.24	.51196
855	13923.4	9.421	2367.60	.51408
854	13947.5	9.449	2380.05	.51621
853	13971.8	9.477	2392.58	.51835
852	13996.1	9.505	2405.20	.52050
851	14020.4	9.534	2417.91	.52266
850	14044.8	9.563	2430.71	.52483
849	14069.3	9.592	2443.59	.52701
848	14093.9	9.621	2456.56	.52920
847	14118.5	9.650	2469.62	.53141
846	14143.2	9.679	2482.77	.53363
845	14168.0	9.708	2496.01	.53586
844	14192.8	9.737	2509.34	.53810
843	14217.7	9.766	2522.77	.54035
842	14242.7	9.796	2536.29	.54261
841	14267.7	9.826	2549.90	.54488
840	14292.8	9.856	2563.60	.54716
839	14318.0	9.886	2577.40	.54946
838	14343.2	9.916	2591.29	.55177
837	14368.5	9.946	2605.27	.55409
836	14393.8	9.976	2619.35	.55642
835	14419.3	10.006	2633.52	.55876
834	14444.7	10.037	2647.79	.56111
833	14470.3	10.068	2662.16	.56348
832	14495.9	10.099	2676.63	.56586
831	14521.6	10.130	2691.19	.56825
830	14547.3	10.161	2705.85	.57065
829	14573.1	10.192	2720.61	.57306
828	14599.0	10.223	2735.47	.57549
827	14625.0	10.254	2750.43	.57793
826	14651.0	10.286	2765.50	.58038
825	14677.1	10.318	2780.67	.58284
824	14703.2	10.350	2795.94	.58531
823	14729.4	10.382	2811.32	.58779
822	14755.7	10.414	2826.80	.59029
821	14782.0	10.446	2842.38	.59280
820	14808.4	10.478	2858.07	.59532
819	14834.9	10.510	2873.86	.59786

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
818	14861.4	10.542	2889.76	.60041
817	14888.0	10.575	2905.76	.60297
816	14914.7	10.608	2921.87	.60554
815	14941.4	10.641	2938.09	.60813
814	14968.2	10.674	2954.42	.61073
813	14995.1	10.707	2970.86	.61334
812	15022.0	10.740	2987.40	.61596
811	15049.0	10.773	3004.06	.61859
810	15076.0	10.806	3020.83	.62124
809	15103.2	10.840	3037.71	.62390
808	15130.4	10.874	3054.71	.62658
807	15157.6	10.908	3071.82	.62927
806	15184.9	10.942	3089.05	.63197
805	15212.3	10.976	3106.39	.63468
804	15239.8	11.010	3123.85	.63741
803	15267.3	11.044	3141.42	.64015
802	15294.8	11.078	3159.12	.64290
801	15322.5	11.112	3176.93	.64567
800	15350.2	11.147	3194.86	.64845
799	15378.0	11.182	3212.91	.65125
798	15405.8	11.217	3231.08	.65406
797	15433.7	11.252	3249.37	.65688
796	15461.7	11.287	3267.78	.65971
795	15489.7	11.322	3286.31	.66256
794	15517.8	11.357	3304.96	.66542
793	15545.9	11.392	3323.73	.66830
792	15574.2	11.428	3342.63	.67119
791	15602.4	11.464	3361.66	.67409
790	15630.8	11.500	3380.81	.67701
789	15659.2	11.536	3400.09	.67994
788	15687.7	11.572	3419.49	.68289
787	15716.2	11.608	3439.02	.68585
786	15744.8	11.644	3458.68	.68882
785	15773.5	11.680	3478.47	.69181
784	15802.2	11.717	3498.39	.69481
783	15831.0	11.754	3518.45	.69783
782	15859.9	11.791	3538.63	.70086
781	15888.8	11.828	3558.94	.70391
780	15917.8	11.865	3579.39	.70697

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
779	15946.8	11.902	3599.97	.71005
778	15975.9	11.940	3620.69	.71314
777	16005.1	11.978	3641.54	.71625
776	16034.4	12.016	3662.53	.71937
775	16063.7	12.054	3683.66	.72250
774	16093.0	12.092	3704.93	.72563
773	16122.5	12.130	3726.34	.72881
772	16152.0	12.168	3747.88	.73199
771	16181.5	12.206	3769.56	.73518
770	16211.1	12.244	3791.38	.73839
769	16240.8	12.283	3813.34	.74162
768	16270.6	12.322	3835.44	.74486
767	16300.4	12.361	3857.68	.74811
766	16330.2	12.400	3880.07	.75138
765	16360.2	12.439	3902.61	.75466
764	16390.2	12.478	3925.29	.75796
763	16420.2	12.517	3948.12	.76127
762	16450.3	12.556	3971.10	.76460
761	16480.5	12.595	3994.23	.76795
760	16510.7	12.635	4017.51	.77137
759	16541.0	12.675	4040.94	.77470
758	16571.4	12.715	4064.52	.77810
757	16601.9	12.755	4088.25	.78151
756	16632.4	12.795	4112.14	.78494
755	16662.9	12.836	4136.19	.78839
754	16693.6	12.877	4160.39	.79185
753	16724.3	12.918	4184.75	.79532
752	16755.0	12.959	4209.27	.79881
751	16785.8	13.000	4233.94	.80232
750	16816.7	13.041	4258.76	.80584
749	16847.7	13.082	4283.74	.80938
748	16878.7	13.124	4308.89	.81294
747	16909.7	13.166	4334.20	.81652
746	16940.9	13.208	4359.63	.82012
745	16972.1	13.250	4385.33	.82372
744	17003.3	13.292	4411.14	.82735
743	17034.6	13.334	4437.11	.83099
742	17066.0	13.376	4463.24	.83465
741	17097.5	13.418	4489.54	.83833

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
740	17129.0	13.460	4516.00	.84203
739	17160.5	13.503	4542.63	.84574
738	17192.1	13.546	4569.44	.84947
737	17223.8	13.589	4596.42	.85322
736	17255.6	13.632	4623.57	.85698
735	17287.4	13.675	4650.89	.86076
734	17319.3	13.718	4678.38	.86455
733	17351.2	13.761	4706.04	.86838
732	17383.2	13.805	4733.88	.87222
731	17415.2	13.849	4761.90	.87607
730	17447.3	13.893	4790.09	.97994
729	17479.5	13.937	4818.46	.88383
728	17511.7	13.981	4847.01	.88774
727	17544.0	14.026	4875.75	.89166
726	17576.4	14.071	4904.67	.89560
725	17608.8	14.116	4933.77	.89956
724	17641.3	14.161	4963.06	.90354
723	17673.9	14.206	4992.54	.90754
722	17706.5	14.251	5022.21	.91156
721	17739.2	14.296	5052.07	.91560
720	17771.9	14.341	5082.12	.91966
719	17804.7	14.387	5112.36	.92374
718	17837.6	14.433	5142.79	.92784
717	17870.5	14.479	5173.42	.93196
716	17903.5	14.525	5204.25	.93610
715	17936.6	14.571	5235.27	.94025
714	17969.7	14.617	5266.49	.94442
713	18002.9	14.663	5297.90	.94861
712	18036.1	14.710	5329.50	.95282
711	18069.4	14.757	5361.29	.95705
710	18102.6	14.804	5393.28	.96130
709	18136.2	14.851	5425.47	.96557
708	18169.7	14.898	5457.89,	.96987
707	18203.2	14.946	5490.48	.97418
706	18236.8	14.994	5523.30	.97851
705	18270.5	15.042	5556.32	.98286
704	18304.3	15.090	5589.55	.98723
703	18338.0	15.138	5622.98	.99162
702	18371.9	15.186	5656.62	.99603

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
701	18405.8	15.234	5690.47	1.00046
700	18439.8	15.282	5724.52	1.00491
699	18473.8	15.331	5758.79	1.00938
698	18507.9	15.380	5793.28	1.01387
697	18542.0	15.429	5858.00	1.01839
696	18576.3	15.478	5862.94	1.02293
695	18610.6	15.527	5898.09	1.02749
694	18644.9	15.576	5933.46	1.03207
693	18679.3	15.625	5969.05	1.03667
692	18713.8	15.675	6004.86	1.04129
691	)8748.3	15.725	6040.88	1.04593
690	18782.9	15.775	6077.13	1.05060
689	18817.5	15.825	6113.61	1.05529
688	18852.2	15.875	6150.31	1.06000
687	18887.0	15.926	6187.24	1.06473
686	18921.8	15.977	6224.40	1.06948
685	18956.7	16.028	6261.79	1.07425
684	18991.6	16.079	6299.42	1.07904
683	19026.7	16.130	6337.28	1.08386
682	19061.7	16.181	6375.38	1.08870
681	19096.9	16.233	6413.71	1.09357
680	19132.0	16.285	6452.28	1.09846
679	19167.3	16.337	6491.09	1.10337
678	19202.6	16.389	6530.15	1.10830
677	19238.0	16.441	6569.45	1.11326
676	19273.4	16.494	6608.99	1.11824
675	19309.0	16.547	6648.78	1.12325
674	19344.5	16.600	6688.82	1.1282)-(
673	19380.2	16.653	6729.11	1.13333
672	19415.9	16.706	6769.66	1.13841
671	19451.6	16.759	6810.46	1.14351
670	19487.4	16.812	6851.51	1.14863
669	19523.3	16.866	6892.81	1.15378
668	19559.2	16.920	6934.37	1.15895
667	19595.2	16.974	6976.19	1.16415
666	19631.3	17.028	7018.27	1.16937
665	19667.4	17.082	7060.62	1.17462
664	19703.6	17.136	7103.24	1.17990
663	19739.9	17.191	7146.12	1.18520

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
662	19776.2	17.246	7189.25	1.19052
661	19812.6	17.301	7232.64	1.19586
660	19849.0	17.356	7276.29	1.20122
659	19885.5	17.411	7320.20	1.20661
658	19922.0	17.466	7364.39	1.21203
657	19958.6	17.522	7408.86	1.21748
656	19995.3	17.578	7453.61	1.22295
655	20032.0	17.637	7498.66	1.22845
654	20068.8	17.690	7543.98	1.23398
653	20105.7	17.746	7589.58	1.23954
652	20142.6	17.803	7635.46	1.24512
651	20179.6	17.860	7681.63	1.25073
650	20216.7	17.917	7728.07	1.25636
649	20253.8	17.974	7774.80	1.26202
648	20291.0	18.031	7821.83	1.26771
647	20328.2	18.089	7869.15	1.27342
646	20365.6	18.147	7916.78	1.27916
645	20402.9	18.205	7964.71	1.28493
644	20440.4	18.263	8012.93	1.29073
643	20477.9	19.321	8061.44	1.29655
642	20515.4	18.379	8110.24	1.30240
641	20553.0	18.438	8159.33	1.30828
640	20590.7	18.497	8208.72	1.31419
639	20628.4	18.556	8258.41	1.32012
638	20666.2	18.615	8308.42	1.32608
637	20704.1	18.674	8358.76	1.33207
636	20742.0	18.734	8409.41	1.33809
635	20780.0	18.794	8460.37	1.34414
634	20818.1	18.854	8511.63	1.35022
633	20856.2	18.914	8563.20	1.35633
632	20894.4	18.974	8615.09	1.36247
631	20932.6	19.035	8667.29	1.36864
630	20970.9	19.096	8719.81	1.37484
629	21009.3	19.157	8772.66	1.38106
628	21047.7	19.218	8825.84	1.38732
627	21086.2	19.279	8879.36	1.39361
626	21124.8	19.340	8933.22	1.39993
625	21163.4	19.402	8987.42	1.40628
624	21202.1	19.464	9041.95	1.41266

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
623	21240.8	19.526	9096.81	1.41907
622	21279.7	19.588	9152.00	1.42551
621	21318.5	19.651	9027.53	1.43198
620	21357.5	19.714	9263.40	1.43848
619	21396.4	19.777	9319.62	1.44501
618	21435.5	19.840	9376.19	1.45158
617	21474.6	19.903	9433.11	1.45818
616	21513.8	19.967	9490.38	1.46481
615	21553.1	20.031	9548.00	1.47147
614	21592.4	20.095	9605.97	1.47817
613	21631.7	20.159	9664.30	1.48490
612	21671.2	20.223	9722.98	1.49166
611	21710.7	20.288	9782.03	1.49845
610	21750.2	20.353	9841.45	1.50528
609	21789.8	20.418	9901.22	1.51214
608	21829.5	20.483	9961.36	1.51903
607	21869.3	20.548	10021.87	1.52596
606	21909.1	20.614	10082.76	1.53293
605	21949.0	20.680	10144.02	1.53993
604	21988.9	20.746	10205.66	1.54696
603	22028.9	20.812	10267.68	1.55402
602	22^69.0	20.879	10330.08	1.56112
601	22109.1	20.946	10392.87	1.56825
600	22149.3	21.013	10456.05	1.57542
599	22189.5	21.080	10519.7	1.58262
599	22229.9	21.147	10583.7	1.58986
597	22270.2	21.215	10648.1	1.59714
596	22310.7	21.283	10712.8	1.60445
595	22351.2	21.351	10777.9	1.61180
594	22391.8	21.419	10843.4	1.61919
593	22432.4	21.487	10909.4	1.62661
592	22473.2	21.556	10975.8	1.63407
591	22513.9	21.625	11042.6	1.64157
590	22554.8	21.694	11109.8	1.64910
589	22595.7	21.763	11177.4	1.65667
588	22636.7	21.833	11245.4	1.66428
587	22677.7	21.903	11313.9	1.67193
586	22718.8	21.973	11382.8	1.67962
585	22760.0	22.043	11452.1	1.68735

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
584	22801.2	22.114	11521.8	1.69511
583	22842.5	22.185	11591.9	1.70291
582	22883.9	22.256	11662.5	1.71075
581	22925.4	22.327	11733.6	1.71863
580	22966.9	22.398	11805.1	1.72655
579	23008.4	22.470	11877.0	1.73451
578	23050.1	22.542	11949.4	1.74251
577	23091.8	22.614	12022.2	1.75055
576	23133.5	22.686	12095.5	1.75863
575	23175.4	22.759	12169.3	1.76676
574	23217.3	22.832	12243.5	1.77493
573	23259.3	22.905	12318.2	1.78314
572	23301.3	22.979	12393.3	1.79139
571	23343.4	23.053	12468.9	1.79968
570	23385.6	23.127	12545.0	1.80801
569	23427.8	23.201	12621.5	1.81639
568	23470.1	23.275	12698.5	1.82481
567	23512.5	23.350	12776.0	1.83327
566	23554.9	23.425	12854.0	1.84178
565	23597.5	23.500	12932.5	1.85033
564	23640.0	23.575	13011.5	1.85893
563	23682.7	23.651	13091.0	1.86757
562	23725.4	23.727	13171.0	1.87626
561	23768.2	23.803	13251.5	1.88499
560	23811.0	23.880	13332.5	1.89376
559	23854.0	23.957	13414.0	1.90258
558	23897.0	24.034	13496.0	1.91145
557	23940.0	24.111	13578.5	1.92036
556	23983.2	24.188	13661.5	1.92932
555	24026.4	24.266	13745.0	1.93834
554	24069.6	24.344	13829.0	1.94739
553	24113.0	24.422	13913.6	1.95648
552	24156.4	24.501	13998.7	1.96562
551	24199.9	24.580	14084.4	1.97481
550	24243.4	24.659	14170.6	1.98405
549	24287.0	24.738	14257.3	1.99334
548	24330.7	24.818	14344.6	2.00268
547	24374.4	24.898	14432.4	2.01207
546	24418.3	24.978	14520.8	2.02151

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
545	24462.2	25.058	14609.8	2.02100
544	24506.1	25.139	14699.3	2.04054
543	24550.2	25.220	14789.4	2.05013
542	24594.3	25.301	14880.0	2.05977
541	24638.5	25.383	14971.2	2.06946
540	24682.7	25.465	15063.0	2.07919
539	24727.0	25.547	15155.4	2.08899
538	24771.4	25.630	15248.4	2.09884
537	24815.9	25.713	15341.9	2.10874
536	24860.5	25.796	15436.1	2.11870
535	24905.1	25.879	15530.9	2.12871
534	24949.9	25.963	15626.3	2.13877
533	24994.6	26.047	15722.3	2.14889
532	25039.4	26.131	15818.9	2.15906
531	25084.3	26.215	15916.1	2.16929
530	25129.3	26.300	16013.9	2.17957
529	25174.4	26.385	16112.3	2.18990
528	25219.5	26.470	16211.3	2.20029
527	25264.7	26.556	16311.0	2.21074
526	25309.9	26.642	16411.3	2.22124
525	25355.2	26.728	16512.2	2.23180
524	25400.7	26.815	16613.8	2.24242
523	25446.1	26.902	16716.0	2.25309
522	25491.7	26.989	16818.9	2.26382
521	25537.3	27.076	16922.4	2.27461
520	25583.0	27.164	17026.6	2.28546
519	25628.8	27.252	17131.5	2.29637
518	25674.6	27.341	17237.0	2.30734
517	25720.5	27.430	17343.2	2.31837
516	25766.5	27.519	17450.1	2.32946
515	25812.6	27.608	17557.7	2.34061
514	25858.8	27.698	17666.0	2.35182
513	25905.0	27.788	17775.0	2.36310
512	25951.3	27.878	17884.7	2.37444
511	25997.7	27.969	17995.1	2.38585
510	26044.2	28.060	18106.2	2.39732
509	26090.7	28.151	18218.1	2.40886
508	26137.4	28.243	18330.7	2.42046
507	26184.1	28.335	18444.0	2.43213

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
506	26230.9	28.427	18558.2	2.44386
505	26277.8	28.520	18673.0	2.45566
504	26324.7	28.613	18788.6	2.46752
503	26371.7	28.706	18904.9	2.47945
502	26418.8	28.800	19022.0	2.49145
501	26466.0	28.894	19137.8	2.50353
500	26513.3	28.989	19258.4	2.51568
499	26560.6	29.084	19377.8	2.52789
498	26608.0	29.179	19498.0	2.54017
497	26655.6	29.274	19719.0	2.55252
496	26703.2	29.370	19740.8	2.56494
495	26750.8	29.466	19863.4	2.57743
494	26798.6	29.562	19986.8	2.58999
493	26846.4	29.659	20111.0	2.60262
492	26894.3	29.756	20236.0	2.61532
491	26942.3	29.854	20361.7	2.62810
490	26990.4	29.952	20488.2	2.64095
489	27038.5	30.050	20615.7	2.65387
488	27086.7	30.149	20744.0	2.66687
487	27135.1	30.248	20873.2	2.67994
486	27183.5	30.348	21003.2	2.69309
485	27231.9	30.448	21134.1	2.70632
484	27280.5	30.548	21265.8	2.71962
483	27329.1	30.649	21398.4	2.73300
482	27377.8	30.750	21531.9	2.74646
481	27426.6	30.851	21666.3	2.76000
480	27475.5	30.953	21801.5	2.77362
479	27524.5	31.055	21937.4	2.78732
478	27573.6	31.157	22074.4	2.80110
477	27622.7	31.260	22212.4	2.81497
476	27671.9	31.363	22351.3	2.82892
475	27721.3	31.467	22491.2	2.84395
474	27770.7	31.571	22632.0	2.85706
473	27802.2	31.675	22773.8	2.87126
472	27869.7	31.780	22916.5	2.88554
471	27919.4	31.886	23060.2	2.89991
470	27969.2	31.992	23204.8	2.91437
469	28019.0	32.098	23350.4	2.92891
468	28068.9	32.205	23497.0	2.94354

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
467	28119.0	32.312	23644.6	2.95826
466	28169.1	32.419	23793.2	2.97307
465	28219.2	32.527	23942.8	2.98797
464	28269.5	32.635	24093.4	3.00296
463	28319.9	32.744	24245.0	3.01804
462	28370.3	32.853	24397.6	3.03321
461	28420.9	32.963	24551.2	3.04847
460	28471.5	33.073	24705.9	3.06382
459	28522.2	33.183	24861.7	3.07927
458	28573.0	33.294	25018.6	3.09482
457	28623.9	33.405	25176.5	3.11046
456	28674.9	33.517	25335.5	3.12620
455	28726.0	33.629	25495.6	3.14204
454	28777.2	33.742	25656.8	3.15797
453	28828.4	33.855	25819.1	3.17400
452	28879.8	33.968	25982.5	3.19013
451	28931.3	34.082	26147.1	3.20636
450	28982.8	34.196	26312.8	3.22270
449	29034.4	34.311	26479.7	3.23914
448	29086.2	34.426	26647.8	3.25569
447	29138.0	34.542	26817.1	3.27234
446	29190.0	34.658	26987.5	3.28910
445	29242.0	34.775	27159.1	3.30597
444	29294.2	34.892	27331.9	3.32294
443	29346.4	35.010	27505.9	3.34002
442	29398.7	35.128	27681.1	3.35721
441	29451.2	35.247	27857.5	3.37451
440	29503.7	35.367	28035.2	3.39192
439	29556.3	35.487	28214.1	3.40944
438	29609.0	35.607	28394.3	3.42707
437	29661.8	35.728	28575.8	3.44481
436	29714.7	35.849	28758.5	3.46267
435	29767.7	35.971	28942.5	3.48065
434	29820.8	36.093	29127.8	3.49874
433	29874.1	36.216	29314.4	3.51695
432	29927.4	36.339	29502.4	3.53528
431	29980.8	36.463	29691.7	3.55373
430	30034.2	36.587	29882.3	3.57230
429	30087.9	36.712	30074.3	3.59100

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
428	30141.6	36.837	30267.7	3.60982
427	30195.4	36.963	30462.5	3.62876
426	30249.3	37.089	30658.7	3.64783
425	30303.4	37.216	30856.3	3.66703
424	30357.5	37.344	31055.4	3.68636
423	30411.8	37.472	31255.9	3.70581
422	30466.1	37.601	31457.8	3.72539
421	30520.6	37.730	31661.2	3.74510
420	30575.1	37.860	31866.1	3.76494
419	30629.8	37.990	32072.4	3.78492
418	30684.5	38.121	32280.2	3.80503
417	30739.4	38.252	32489.5	3.82528
416	30794.4	38.384	32700.3	3.84566
415	30849.5	38.517	32912.7	3.86618
414	30904.6	38.650	33126.6	3.88684
413	30956.0	38.784	33342.1	3.90764
412	31015.3	38.918	33559.2	3.92858
411	31070.9	39.053	33777.9	3.94966
410	31126.4	39.188	33998.2	3.97089
409	31182.2	39.324	34220.1	3.99227
408	31238.0	39.461	34443.7	4.01380
407	31294.0	39.598	34668.9	4.03548
406	31350.1	39.736	34895.8	4.05731
405	31406.3	39.875	35124.4	4.07929
404	31462.6	40.014	35354.7	4.10142
403	31519.0	40.154	35586.7	4.12370
402	31575.5	40.294	35820.5	4.14614
401	31632.2	40.435	36056.0	4.16874
400	31688.9	40.577	36293.2	4.19151
399	31745.8	40.721	36532.2	4.21443
398	31802.8	40.864	36773.0	4.23751
397	31859.9	41.007	37015.6	4.26075
396	31917.1	41.151	37260.0	4.28416
395	31974.4	41.296	37506.3	4.30774
394	32031.9	41.441	37754.5	4.33149
393	32089.4	41.587	38004.6	4.35540
392	32147.1	41.734	38256.6	4.37948
391	32205.0	41.882	38510.5	4.40374
390	32262.9	42.030	38766.3	4.42818
389	32320.9	42.179	39024.2	4.45280
388	32379.1	42.329	39284.1	4.47760

387	32437.5	42.479	39546.0	4.50258
386	32495.9	42.630	39809.9	4.52774
385	32554.5	42.782	40075.8	4.55308
384	32613.2	42.935	40343.7	4.57861
383	32672.0	43.088	40613.6	4.60433
382	32730.9	43.242	40885.7	4.63024
381	32790.0	43.397	41159.9	4.65634
380	32849.1	43.553	41436.2	4.68263
379	32908.4	43.709	41714.7	4.70912
378	32967.8	43.866	4.995.4	4.73580
377	33027.4	44.024	42278.3	4.76268
376	33087.1	44.183	42563.4	4.78977
375	33146.9	44.342	42850.8	4.81706
374	33206.9	44.502	43140.4	4.84455
373	33267.0	44.663	43432.4	4.87226
372	33327.2	44.825	43726.7	4.90018
371	33387.5	44.987	44023.3	4.92831
370	33448.1	45.150	44322.3	4.95666
369	33508.7	45.314	44623.7	4.98522
368	33569.4	45.479	44927.4	5.01400
367	33630.3	45.645	45233.6	5.04300
366	33691.4	45.812	45542.4	5.07223
365	33752.6	45.979	45853.7	5.10170
364	33813.9	46.147	46167.5	5.13139
363	33875.4	46.316	46483.8	5.16131
362	33937.0	46.486	46802.7	5.19147
361	33998.7	46.657	47124.3	5.22187
360	34060.7	46.829	47448.6	5.25252
359	34122.7	47.002	47775.5	5.28340
358	34184.9	47.176	48105.0	5.31452
357	34247.3	47.350	48437.3	5.34590
356	34309.7	47.525	48772.3	5.37751
355	34372.4	47.701	49110.0	5.40938
354	34435.1	47.878	49450.6	5.44151
353	34498.1	48.056	49794.1	5.47390
352	34561.1	48.235	50140.4	5.50655
351	34624.3	48.415	50489.5	5.53946
350	34687.7	48.596	50941.6	5.57264
349	34751.2	48.778	51196.5	5.60607
348	34814.9	48.961	51554.4	5.63978

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
347	34878.7	49.145	51915.4	5.67377
346	34942.7	49.330	52279.5	5.70805
345	35006.8	49.516	52646.6	5.74260
344	35071.0	49.702	53016.8	5.77743
343	35135.5	49.889	53390.2	5.81255
342	35200.1	50.077	53766.8	5.84797
341	35264.8	50.266	54146.7	5.88369
340	35329.8	50.457	54529.8	5.91971
339	35394.8	50.649	54916.2	5.95602
338	35460.1	50.842	55305.9	5.99264
337	35525.4	51.036	55698.9	6.02956
336	35591.0	51.231	56095.2	6.06678
335	35656.7	51.427	56495.0	6.10432
334	35722.5	51.624	56898.2	6.14218
333	35788.5	51.822	57304.9	6.18035
332	35854.7	52.021	57715.2	6.21885
331	35921.1	52.221	58129.0	6.25768
330	35987.5	52.421	58546.4	6.29683
329	36054.2	52.623	58967.5	6.33632
328	36121.1	52.827	59392.3	6.37616
327	36188.1	53.032	59821.0	6.41635
326	36255.3	53.238	60253.6	6.45690
325	36322.6	53.445	60689.9	6.49780
324	36390.2	53.653	61130.0	6.53904
323	36457.9	53.862	61574.1	6.58065
322	36525.8	54.072	62022.3	6.62264
321	36593.8	54.284	62474.6	6.66500
320	36662.1	54.497	62930.9	6.70773
320	36662.1	54.497	62930.9	6.70773
319	36730.5	54.711	63391.2	6.75083
318	36799.1	54.926	63855.7	6.79432
317	36867.8	55.142	64324.5	6.83820
316	36936.8	55.360	64797.6	6.88248
315	37005.9	55.579	65275.0	6.92715
314	37075.2	55.800	65756.6	6.97222
313	37144.7	56.022	66242.7	7.01770
312	37214.4	56.245	66733.3	7.06360
311	37284.3	56.469	67228.5	7.10992
310	37354.4	56.695	67728.4	7.15667

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
309	37424.6	56.922	68232.8	7.20384
308	37495.0	57.150	68741.8	7.25143
307	37565.6	57.379	69255.6	7.29946
306	37636.5	57.610	69774.3	7.34795
305	37707.5	57.842	70297.9	7.39690
304	37778.7	58.076	70826.4	7.44631
303	37850.1	58.311	71360.0	7.49619
302	37921.8	58.548	71898.8	7.54654
301	37993.6	58.787	72442.8	7.59737
300	38065.7	59.027	72992.0	7.64869
299	38137.9	59.268	63546.3	7.70048
298	38210.3	59.510	74105.8	7.75275
297	38282.9	59.754	74670.7	7.80552
296	38355.8	60.000	75241.1	7.85881
295	38428.8	60.247	25817.1	7.91262
294	38502.1	60.496	76398.8	7.96695
293	38575.5	60.747	76986.2	8.08181
292	38649.2	60.999	77579.4	8.07721
291	38723.1	61.253	78178.5	8.13316
290	38797.3	61.508	78783.5	8.18966
289	38871.6	61.765	79394.5	8.24672
288	38946.2	62.023	80011.6	8.30435
287	39021.0	62.283	80634.9	8.36255
286	39096.0	62.545	81264.5	8.42133
285	39171.2	62.808	81900.4	8.48070
284	39246.7	63.073	82542.8	8.54068
283	39322.4	63.340	83191.4	8.60126
282	39398.3	63.609	83846.8	8.66246
281	39474.5	63.879	84508.9	8.72428
280	39550.9	64.152	85177.8	8.78673
279	39627.5	64.426	85854	8.8498
278	39704.4	64.702	86536	8.9136
277	39781.5	64.908	87226	8.9780
276	39858.8	65.260	87923	9.0430
275	39936.4	65.542	88627	9.1088
274	40014.2	65.826	89338	9.1752
273	40092.3	66.111	90057	9.2423
272	40170.6	66.398	90784	9.3101
271	40249.1	66.687	91518	9.3787

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
270	40327.9	66.979	92259	9.4480
269	40407.0	67.272	93009	9.5180
268	40860.3	67.567	93767	9.5887
267	40565.8	67.864	94532	9.6602
266	40645.7	68.163	95306	9.7325
265	40725.7	68.465	96088	9.8056
264	40806.0	68.769	96879	9.8794
263	40886.6	69.075	97678	9.9540
262	40967.4	69.383	98486	10.0295
261	41048.6	69.693	99302	10.1058
260	41130.0	70.006	100128	10.1830
259	41211.7	70.321	100963	10.2610
258	41293.6	70.638	101807	10.3399
257	41375.9	70.957	102661	10.4197
256	41458.4	71.278	103524	10.5003
255	41541.2	71.602	104396	10.5819
254	41624.2	71.928	105279	10.6644
253	41707.6	72.257	106171	10.7478
252	41791.2	72.588	107073	10.8321
251	41875.1	72.922	107985	10.9174
250	41959.2	73.258	108908	11.0037
249	42043.7	73.597	109841	11.0910
248	42128.5	73.938	110785	11.1793
247	42213.5	74.282	111739	11.2686
246	42298.8	74.628	112704	11.3589
245	42384.4	74.977	113681	11.4503
244	42470.4	75.329	114670	11.5428
243	42556.7	75.684	115670	11.6364
242	42643.3	76.041	116682	11.7311
241	42730.2	76.400	117705	11.8269
240	42817.4	76.762	118740	11.9239
239	42905.0	77.128	119788	12.0221
238	42992.8	77.497	120849	12.1215
237	43081.0	77.868	121922	12.2221
236	43169.6	78.242	123009	12.3239
235	43258.5	78.619	124109	12.4269
234	43347.7	78.999	125222	12.5312
233	43437.2	79.383	126349	12.6369
232	43527.2	79.770	127490	12.7439

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
231	43617.4	80.160	128645	12.8522
230	43708.0	80.553	129815	12.9619
229	43799.0	80.949	130999	13.0730
228	43890.3	81.349	132198	13.1855
227	43982.0	81.752	133412	13.2994
226	44074.0	82.158	134641	13.4147
225	44166.4	82.568	135885	13.5316
224	44259.1	82.981	137145	13.6500
223	44352.2	83.398	138422	13.7699
222	44445.7	83.818	139715	13.8913
221	44539.5	84.241	141024	14.0143
220	44633.7	84.668	142350	14.1389
219	44728.2	85.099	143692	14.2651
218	44823.1	85.533	145052	14.3929
217	44918.3	85.971	146429	14.5224
216	45014.0	86.413	147824	14.6537
215	45110.0	86.859	149238	14.7869
214	45206.5	87.308	150670	14.9218
213	45303.3	87.761	152122	15.0585
212	45400.6	88.201	153594	15.1971
211	45498.3	88.681	155085	15.3375
210	45596.5	89.147	156596	15.4799
209	45695.1	89.617	158128	15.6243
208	45794.0	90.092	159681	15.7707
207	45893.4	90.571	161256	15.9192
206	45993.2	91.054	162852	16.0698
205	46093.5	91.542	164471	16.2225
204	46194.2	92.034	166113	16.3774
203	46295.4	92.531	167778	16.5345
202	46397.0	93.033	169466	16.6939
201	46499.1	93.540	161179	16.8556
200	46601.7	94.052	172917	17.0197
199	46704.7	94.57	174679	17.1861
198	46808.1	95.09	176466	17.3550
197	46912.1	95.62	178279	17.5264
196	46016.5	96.15	180118	17.7003
195	47121.4	96.68	181984	17.8768
194	47226.7	97.22	183877	18.0560
193	47332.6	97.77	185798	18.2379

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
192	47439.0	98.32	187748	18.4226
191	47545.9	98.88	187927	18.6101
190	47653.3	99.45	191736	18.8005
189	47761.2	100.12	193775	18.9937
188	47869.6	100.59	195845	19.1899
187	47978.5	101.17	197946	19.3982
186	48088.0	101.76	200077	19.3516
185	48197.9	102.35	202242	19.7972
184	48308.5	102.95	204442	20.0061
183	48419.6	103.56	206677	20.2183
182	48531.3	104.17	208947	20.4340
181	48643.5	104.79	211253	20.6530
180	48756.2	105.41	213595	20.8756
179	48869.6	106.05	215975	21.1019
178	48983.6	106.68	218393	21.3320
177	49098.1	107.33	220850	21.5659
176	49213.2	107.98	223345	21.8035
175	49328.9	108.64	225880	22.0451
174	49445.2	109.31	228458	22.2907
173	49562.1	109.98	231078	22.5405
172	49679.6	110.66	233742	22.7945
171	49797.7	111.35	236450	23.0528
170	49916.5	112.05	239204	23.3156
169	50035.9	112.75	242004	23.5829
168	50155.9	113.46	244851	23.8549
167	50276.6	114.18	247747	24.1316
166	50398.0	114.91	250693	24.4132
165	50520.0	115.65	253690	24.6998
164	50642.7	116.40	256739	24.9915
163	50766.1	117.15	259841	25.2884
162	50890.2	117.91	262997	25,5906
161	51015.1	118.69	266210	25.8984
160	51140.5	119.47	269480	26.2118
159	51266.6	120.26	272806	26.5306
158	51393.5	121.06	276191	26.8553
157	51521.0	121.87	279637	27.1860
156	51649.3	122.69	283146	27.5229
155	51778.3	123.52	286719	27.8661
154	51908.1	124.36	290358	28.2157

Tavola di ritardazione G-1				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
153	52038.8	125.21	294067	28.5722
152	52170.2	126.07	297848	28.9359
151	52302.6	126.95	301703	29.3069
150	52435.8	127.83	305632	29.6853
149	52569.8	128.73	309637	30.0706
148	52704.7	129.64	313719	30.4643
147	52840.4	130.56	317880	30.8654
146	52976.9	131.49	322121	31.2745
145	53114.3	132.43	326445	31.6917
144	53252.5	133.39	330855	32.1174
143	53391.5	134.36	335352	32.5518
142	53531.5	135.34	339938	32.9951
141	53672.3	136.34	344615	33.4476
140	53814.0	137 34	349387	33.9095
139	53956.7	138.37	354261	34.3814
138	54100.4	139.40	359236	34.8632
137	54245.0	140.47	364313	35.3552
136	54390.7	141.52	369500	35.8581
135	54537.4	142.60	374800	36.3721
134	54685.1	143.70	380212	36.8973
133	54833.8	144.82	385738	37.4340
132	54983.6	145.95	391387	37.9829
131	55134.6	147.10	397163	38.5444
130	55286.7	148.26	403070	39.1189
129	55439.9	149.45	409105	39.7062
128	55594.1	150.64	415274	40.3068
127	55749.5	151.86	421586	40.9216
126	55906.1	153.10	428044	41.5511
125	56064.0	154.36	434654	42.1957
124	56222.9	155.64	441415	42.8554
123	56383.1	156.93	448331	43.5307
122	56544.5	158.25	455413	44.2227
121	56707.1	159.59	462660	44.9312
120	56870.8	160.95	470079	45.6569

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
3600	0.00	.000	0.00	.01403
3590	16.42	.005	0.23	.01411
3580	32.89	.009	0.46	.01419
3570	49.41	.014	0.70	.01427
3560	65.99	.018	0.94	.01436
3550	82.62	.023	1.18	.01444
3540	99.30	.028	1.42	.01453
3530	116.03	.033	1.66	.01461
3520	132.82	.037	1.91	.01470
3510	149.67	.042	2.16	.01479
3500	166.57	.047	2.41	.01488
3490	183.53	.052	2.66	.01497
3480	200.54	.057	2.92	.01506
3470	217.61	.062	3.17	.01515
3460	234.73	.066	3.43	.01524
3450	251.91	.071	3.70	.01533
3440	269.14	.076	3.96	.01542
3430	286.43	.081	4.23	.01552
3420	303.78	.087	4.50	.01561
3410	321.19	.092	4.77	.01571
3400	338.66	.097	5.05	.01581
3390	356.18	.102	5.32	.01591
3380	373.77	.107	5.60	.01600
3370	391.41	.112	5.89	.01610
3360	409.12	.118	6.17	.01620
3350	426.88	.123	6.46	.01631
3340	444.71	.128	6.75	.01641
3330	462.60	.134	7.05	.01651
3320	480.54	.139	7.35	.01662
3310	498.56	.144	7.65	.01672
3300	516.63	.150	7.95	.01683
3290	534.77	.155	8.26	.01694
3280	552.97	.161	8.56	.01704
3270	571.23	.167	8.88	.01715
3260	589.56	.172	9.19	.01726
3250	607.95	.178	9.51	.01738
3240	626.41	.184	9.83	.01749
3230	644.93	.189	10.16	.01760
3220	663.52	.195	10.49	.01772
3210	682.18	.201	10.82	.01783

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
3200	700.90	.207	11.15	.01795
3190	719.70	.213	11.49	.01807
3180	738.56	.218	11.83	.01819
3170	757.48	.224	12.18	.01831
3160	776.48	.230	12.53	.01843
3150	795.55	.236	12.88	.01855
3140	814.69	.243	13.24	.01868
3130	833.90	.249	13.60	.01880
3120	853.18	.255	13.96	.01893
3110	872.53	.261	14.33	.01906
3100	891.96	.267	14.70	.01919
3090	911.45	.274	15.07	.01932
3080	931.02	.280	15.45	.01945
3070	950.67	.286	15.84	.01959
3060	970.38	.293	16.23	.01972
3050	990.18	.299	16.62	.01986
3040	1010.05	.306	17.01	.02000
3030	1029.99	.312	17.41	.02013
3020	1050.01	.319	17.82	.02028
3010	1070.11	.326	18.23	.02042
3000	1090.29	.332	18.64	.02056
2990	1110.55	.339	19.06	.02071
2980	1130.88	.346	19.48	.02085
2970	1151.30	.353	19.91	.02100
2960	1171.79	.360	20.34	.02115
2950	1192.37	.367	20.78	.02130
2940	1213.03	.374	21.22	.02146
2930	1233.72	.381	21.66	.02161
2920	1254.47	.388	22.12	.02177
2910	1275.34	.395	22.57	.02192
2900	1296.33	.402	23.03	.02208
2890	1317.41	.409	23.50	.02225
2880	1338.57	.417	23.97	.02241
2870	1359.82	.424	24.45	.02258
2860	1381.16	.432	24.94	.02274
2850	1402.58	.439	25.43	.02291
2840	1424.10	.447	25.92	.02308
2830	1445.70	.454	26.42	.02326
2820	1467.39	.462	26.93	.02343

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2810	1489.17	.470	27.44	.02361
2800	1511.05	.478	27.96	.02379
2790	1533.04	.485	28.48	.02397
2780	1555.10	.493	29.01	.02415
2770	1577.25	.501	29.55	.02433
2760	1599.50	.509	30.09	.02452
2750	1621.85	.517	30.64	.02471
2740	1644.25	.526	31.20	.02490
2730	1666.76	.534	31.76	.02509
2720	1689.40	.542	32.33	.02529
2710	1712.14	.551	32.91	.02549
2700	1734.97	.559	33.50	.02569
2690	1757.91	.567	34.09	.02589
2680	1780.95	.576	34.69	.02610
2670	1804.09	.585	35.29	.02631
2660	1827.33	.593	35.91	.02652
2650	1850.68	.602	36.53	.02673
2640	1874.14	.611	37.16	.02695
2630	1897.70	.620	37.80	.02717
2620	1921.36	.629	38.44	.02739
2610	1945.14	.638	39.09	.02761
2600	1969.02	.647	39.76	.02784
2590	1993.02	.657	40.43	.0280/
2580	2017.12	.666	41.11	.02830
2570	2041.34	.675	41.80	.02853
2560	2065.67	.685	42.49	.02877
2550	2090.12	.694	43.20	.02901
2540	2114.68	.704	43.91	.02926
2530	2139.36	.714	44.64	.02950
2520	2164.15	.724	45.37	.02975
2510	2189.07	.733	46.12	.03001
2500	2214.10	.743	46.87	.03026
2490	2239.26	.754	47.64	.03052
2480	2264.54	.764	48.41	.03079
2470	2289.94	.774	49.20	.03105
2460	2315.47	.784	49.99	-.03132
2450	2341.12	.795	50.80	.03160
2440	2366.90	.805	51.62	.03187
2430	2392.81	.816	52.45	.03215

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2420	2418.84	.826	53.29	.03244
2410	2445.01	.838	54.14	.03273
2400	2471.31	.849	55.01	.03302
2400	2471.31	.849	55.01	.03302
2390	2497.84	.860	55.88	.03332
2380	2524.32	.871	56.77	.03362
2370	2551.02	.882	57.68	.03392
2360	2577.87	.893	58.59	.03423
2350	2604.85	.905	59.52	.03454
2340	2631.98	.916	60.46	.03486
2330	2659.24	.928	61.41	.03518
2320	2686.65	.940	62.38	.03551
2310	2714.21	.952	63.37	.03584
2300	2741.91	.964	64.36	.03618
2290	2769.76	.976	65.38	.03652
2280	2797.76	.988	66.40	.03686
2270	2825.91	1.000	67.45	.03721
2260	2854.21	1.013	68.50	.03757
2250	2882.67	1.026	69.58	.03793
2240	2911.29	1.038	70.76	.03829
2230	2940.06	1.051	71.78	.03866
2220	2969.00	1.064	72.90	.03904
2210	2998.10	1.077	74.04	.03942
2200	3027.36	1.091	75.20	.03981
2190	3056.79	1.104	76.38	.04020
2180	3086.38	1.118	77.57	.04060
2170	3116.14	1.131	78.79	.04100
2160	3146.08	1.145	80.02	.04141
2150	3176.19	1.159	81.28	.04183
2140	3206.47	1.173	82.55	.04225
2130	3236.94	1.187	83.84	.04268
2120	3267.58	1.202	85.16	.04312
2110	3298.40	1.217	86.49	.04356
2100	3329.41	1.231	87.85	.04401
2090	3360.60	1.246	89.23	.04447
2080	3391.98	1.261	90.63	.04494
2070	3423.56	1.276	92.06	.04541
2060	3455.32	1.292	93.51	.04589
2050	3487.28	1.307	94.98	.04637

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2040	3519.44	1.323	96.46	.04687
2030	3551.79	1.339	98.01	.04737
2020	3584.35	1.355	99.56	.04788
2010	3617.12	1.371	101.14	.04840
2000	3650.09	1.388	102.74	.04893
1990	3683.27	1.404	104.37	.04946
1980	3716.67	1.421	106.03	.05001
1970	3750.28	1.438	107.72	.05056
1960	3784.11	1.455	109.45	.05113
1950	3818.16	1.473	111.20	.05170
1940	3852.44	1.490	112.98	.05228
1930	3886.94	1.508	114.79	.05288
1920	3921.68	1.526	116.64	.05348
1910	3956.65	1.545	118.52	.05409
1900	3991.85	1.563	120.44	.05472
1890	4027.30	1.582	122.39	.05535
1880	4062.99	1.601	124.37	.05600
1870	4098.92	1.620	126.39	.05665
1860	4135.11	1.639	128.46	.05732
1850	4171.55	1.660	130.56	.05800
1840	4208.24	1.679	132.70	.05870
1830	4245.20	1.699	134.88	.05940
1820	4282.42	1.719	137.11	.06012
1810	4319.91	1.740	139.38	.06086
1800	4357.67	1.761	141.71	.06160
1790	4395.71	1.782	144.06	.06236
1780	4434.03	1.804	146.47	.06313
1770	4472.63	1.825	148.92	.06392
1760	4511.52	1.847	151.42	.06472
1750	4550.71	1.870	153.97	.06554
1740	490.19	1.892	156.58	.06638
1730	4629.97	1.915	159.24	.06723
1720	4670.07	1.939	161.95	.06809
1710	4710.47	1.962	164.72	.06898
1700	4751.19	1.986	167.54	.06988
1690	4792.23	2.010	170.43	.07080
1680	4833.60	2.035	173.38	.07173
1670	4875.30	2.060	176.39	.07269
1660	4917.33	2.085	179.47	.07367

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1650	4959.71	2.110	182.61	.07466
1640	5002.44	2.136	185.82	.07568
1630	5045.52	2.163	189.10	.07671
1620	5088.96	2.190	192.46	.07777
1610	5132.76	2.217	195.89	.07885
1600	5177	2.244	199.40	.07995
1590	5222	2.272	202.98	.08108
1580	5266	2.300	206.65	.08223
1570	5312	2.329	210.41	.08341
1560	5358	2.358	214.25	.08461
1550	5404	2.388	218.18	.08584
1540	5450	2..418	222.21	.08709
1530	5497	2.449	226.33	.08837
1520	5545	2.480	230.55	.08968
1510	5592	2.512	234.87	.09102
1500	5641	2.544	239.30	.09239
1490	5689	2.576	243.83	.09380
1480	5739	2.609	248.48	.09523
1470	5788	2.643	253.25	.09670
1460	5838	2.677	258.14	.09820
1450	5889	2.712	263.15	.09974
1440	5940	2.747	268.29	,10132
1430	5992	2.783	273.56	.10293
1420	6044	2.820	278.97	.10458
1410	6097	2.857	284.43	.10627
1400	6150	2.895	290.23	.10801
1390	6204	2.934	296.08	.10979
1380	6258	2.973	302.09	.11161
1370	6313	3.013	308.25	.11348
1360	6368	3.053	314.60	.11539
1350	6424	3.094	321.13	.11736
1340	6481	3.136	327.84	.11938
1330	6539	3.179	334.76	.12145
1320	6597	3.223	341.89	.12358
1310	6656	3.268	349.24	.12577
1300	6715	3.314	356.82	.12802
1290	6776	3.361	364.65	.13034
1280	6838	3.409	372.74	.13274
1270	6900	3.458	381.11	.13521

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1260	6963	3.508	389.77	.13776
1250	7028	3.559	398.75	.14040
1240	7094	3.612	408.07	.14313
1230	7161	3.666	417.75	.14595
1220	7229	3.722	427.82	.14888
1210	7299	3.779	438.31	.15192
1200	7370	3.839	449.25	.15508
1190	7443	3.900	460.68	.15836
1180	7518	3.963	472.65	.16179
1170	7595	4.028	485.20	.16536
1160	7674	4.096	498.38	.16910
1150	7755	4.166	512.25	.17301
1140	7838	4.239	526.89	.17711
1130	7924	4.315	542.36	.18142
1120	8014	4.394	558.74	.18595
1110	8106	4.477	576.13	.19073
1100	8202	4.564	594.64	.19578
1090	8301	4.465	614.36	.20111
1080	8405	4.750	635.43	.20676
1070	8512	4.850	657.98	.21275
1060	8624	4.955	682.15	.21910
1050	8741	5.066	708.10	.22584
1040	8862	5.182	735.99	.23300
1030	8989	5.305	766.01	.24062
1020	9122	5.434	798.36	.24872
1010	9259	5.570	833.23	.25732
1000	9403	5.713	870.86	.26648
990	9553	5.863	911.45	.27620
980	9709	6.021	955.27	.28653
970	9871	6.187	1002.59	.29750
960	10039	6.362	1053.66	.30913
950	10214	6.545	1108.79	.32147
940	10395	6.737	1168.28	.33454
930	10583	6.938	1232.47	.34837
920	10778	7.149	1301.67	.36300
910	10979	7.369	1376.29	.37847
900	11187	7.599	1456.70	.39481
890	11402	7.838	1543.28	.41205
880	11623	8.089	1636.44	.42023

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
870	11852	8.349	1736.63	.44940
860	12086	8.621	1844.33	.46958
850	12328	8.903	1960.05	.49082
840	12576	9.196	2084.33	.51315
830	12830	9.501	2217.75	.53664
820	13091	9.818	2360.92	.56131
810	13359	10.146	2514.48	.58723
800	13633	10.487	2679.1	.61444
790	13914	10.840	2855.5	.64300
780	14201	11.205	3044.3	.67296
770	14494	11.584	3246.3	.70438
760	14794	11.975	3462.2	.73731
750	15100	12.381	3693.1	.77183
740	15412	12.800	3939.7	.80802
730	15730	13.233	4202.9	.84593
720	16055	13.681	4483.8	.88565
710	16386	14.144	4783.8	.92729
700	16723	14.622	5103.6	.97090
690	17066	15.115	5444.5	1.01659
680	17415	15.625	5807.8	1.06445
670	17770	16.152	6194.8	1.11462
660	18132	16.696	6607.4	1.16721
650	18500	17.257	7046.6	1.22235
640	18874	17.837	7514.6	1.28018
630	19254	18.436	8012.8	1.34083
620	19640	19.054	8543.2	1.40447
610	20033	19.693	9107.8	1.47147
600	20432	20.353	9708.7	1.54141
590	20838	21.034	10348.6	1.61509
580	21250	21.738	11029.8	1.69254
570	21668	22.467	11755.4	1.77400
560	22094	23.220	12528.3	1.85975
550	22526	23.999	13351.6	1.95004
540	22966	24.805	14229.0	2.04518
530	23412	25.640	15164.6	2.14556
520	23866	26.504	16161.8	2.25145
510	24327	27.400	17225.7	2.36331
500	24796	28.329	18361.5	2.48167
490	25273	29.292	19575.0	2.60694

Tavola di ritardazione G-L				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
480	25758	30.293	20871.6	2.73961
470	26252	31.332	22258.0	2.88036
460	26754	32.413	23741.7	3.02981
450	27266	33.536	25330.7	3.18869
440	27787	34.707	27034.8	3.35788
430	28317	35.927	28863.3	3.53829
420	28858	37.200	30828.1	3.73093
410	29409	38.528	32940.7	3.93688
400	29972	39.917	35215.9	4.15750
390	30546	41.370	37669	4.39417
380	31132	42.893	40318	4.64862
370	31731	44.490	43182	4.92265
360	32344	46.169	46287	5.21851
350	32971	47.936	49658	5.53863
340	33613	49.797	53322	5.88570
330	34270	51.761	57315	6.26282
320	34945	53.837	61674	6.67372
310	35637	56.035	66444	7.12266
300	36349	58.367	71681	7.61468
290	37080	60.848	77444	8.15565
280	37834	63.492	83810	8.75272
270	38611	66.319	90861	9.41396
260	39413	69.346	98697	10.14895
250	40242	72.598	107443	10.96972
240	41100	76.102	117242	11.88989
230	41991	79.893	128278	12.92789
220	42917	84.008	140776	14.10489
210	43879	88.487	154975	15.44589
200	44885	93.392	171245	16.98569
190	45936	98.790	190007	18.76649
180	47039	104.750	211797	20.84159
170	48199	111.390	237331	23.28159
160	49423	118.810	267522	26.17779
150	50719	127.170	303527	29.65129
140	52097	136.680	347133	33.1)7549
130	53570	147.600	400650	39.08489
120	55154	160.290	467467	45.62289
110	56865	175.180	552136	53.96989
100	58728	192.960	662081	64.88329

Tavola di ritardazione G-5					
V - fs	S - ft	T - sec	V - fs	S - ft	T - sec
3600	0	.000	3210	1879	.553
3590	47	.013	3200	1928	.568
3580	94	.026	3190	1978	.584
3570	141	.039	3180	2027	.599
3560	189	.053	3170	2077	.615
3550	236	.066	3160	2126	.630
3540	283	.079	3150	2176	.646
3530	331	.093	3140	2226	.662
3520	378	.106	3130	2276	.678
3510	426	.120	3120	2325	.694
3500	473	.133	3110	2375	.710
3490	521	.147	3100	2425	.726
3480	569	.161	3090	2475	.742
3470	616	.174	3080	2526	.758
3460	664	.188	3080	2576	.775
3450	712	.202	3060	2626	.791
3440	760	.216	3050	2676	.807
3430	808	.230	3040	2727	.824
3420	856	.244	3030	2777	.841
3410	904	.258	3020	2828	.857
3400	952	.272	3010	2878	.874
3390	1001	.286	3000	2929	.891
3380	1049	.301	2990	2980	.908
3370	1097	.315	2980	3030	.925
3360	1146	.329	2970	3081	.942
3350	1194	.344	2960	3132	.959
3340	1243	.358	2950	3183	.976
3330	1291	.373	2940	3234	.994
3320	1340	.388	2930	3285	1.011
3310	1388	.402	2920	3336	1.029
3300	1437	.417	2910	3388	1.046
3290	1486	.432	2900	3439	1.064
3280	1535	.447	2890	3490	1.082
3270	1584	.462	2880	3542	1.100
3260	1633	.477	2870	3593	1.117
3250	1682	.492	2860	3645	1.135
3240	1731	.507	2850	3697	1.154
3230	1780	.522	2840	3748	1.172
3220	1829	.537	2830	3800	1.190

Tavola di ritardazione G-5					
V - fs	S - ft	T - sec	V - fs	S - ft	T - sec
2820	3852	1.208	2430	5932	2.003
2810	3904	1.227	2420	5987	2.025
2810	3904	1.227	2410	6042	2.048
2800	3956	1.245	2400	6097	2.071
2790	4008	1.264	2390	6152	2.094
2780	4060	1.283	2380	6207	2.117
2770	4112	1.302	2370	6263	2.140
2760	4165	1.320	2360	6318	2.164
2750	4217	1.339	2350	6373	2.187
2740	4270	1.359	2340	6429	2.211
2730	4322	1.378	2330	6484	2.235
2720	4375	1.397	2320	6540	2.259
2710	4427	1.416	2310	6596	2.283
2700	4480	1.436	2300	6652	2.307
2690	4533	1.456	2290	6708	2.332
2680	4586	1.475	2280	6764	2.356
2670	4639	1.495	2270	6820	2.381
2660	4692	1.515	2260	6876	2.406
2650	4745	1.535	2250	6932	2.431
2640	4798	1.555	2240	6989	2.456
2630	4851	1.575	2230	7045	2.481
2620	4904	1.596	2220	7102	2.506
2610	4958	1.616	2210	7158	2.532
2600	5011	1.637	2200	7215	2.558
2590	5065	1.657	2190	7272	2.584
2580	5119	1.678	2180	7329	2.610
2570	5172	1.699	2170	7386	2.636
2560	5226	1.720	2160	7443	2.662
2550	5280	1.741	2150	7500	2.689
2540	5334	1.762	2140	7554	2.715
2530	5399	1.783	2130	7615	2.742
2520	5442	1.805	2120	7672	2.769
2510	5496	1.826	2110	7730	2.797
2500	5550	1.848	2100	7788	2.824
2490	5605	1.870	2090	7845	2.852
2480	5659	1.892	2080	7903	2.879
2470	5713	1.914	2070	7961	2.907
2460	5768	1.936	2060	8020	2.935
2450	5823	1.958	2050	8078	2.964
2440	5877	1.980	2040	8136	2.992

Tavola di ritardazione G-5					
V - fs	S - ft	T - sec	V - fs	S - ft	T - sec
2030	8195	3.021	1630	10692	4.395
2020	8253	3.050	1620	10761	4.437
2010	8312	3.079	1610	10829	4.480
2000	8371	3.109	1600	10898	4.523
1990	8430	3.138	1590	10968	4.566
1980	8489	3.168	1580	11038	4.610
1970	8548	3.198	1570	11108	4.655
1960	8608	3.228	1560	11179	4.700
1950	8668	3.259	1550	11250	4.746
1940	8727	3.290	1540	11322	4.793
1930	8787	3.321	1530	11394	4.840
1920	8847	3.352	1520	11467	4.887
1910	8908	3.383	1510	11540	4.935
1900	8968	3.415	1500	11613	4.984
1890	9029	3.447	1490	11688	5.034
1880	9090	3.479	1480	11762	5.084
1870	9151	3.512	1470	11838	5.135
1860	9212	3.545	1460	11913	5.187
1850	9273	3.578	1450	11990	5.240
1840	9335	3.611	1440	12067	5.293
1830	9397	3.645	1430	12144	5.347
1820	9459	3.679	1420	12222	5.402
1810	9522	3.713	1410	12301	5.457
1800	9584	3.748	1400	12381	5.514
1790	9647	3.783	1390	12461	5.57,
1780	9710	3.818	1380	12541	5.630
1770	9773	3.854	1370	12623	5.689
1760	9837	3.890	1360	12705	5.749
1750	9901	3.927	1350	12788	5.810
1740	9965	3.963	1340	12872	5.872
1730	10030	4.001	1330	12956	5.936
1720	10094	4.038	1320	13041	6.000
1710	10160	4.076	1310	13127	6.066
1700	10225	4.114	1300	13214	6.132
1690	10291	4.153	1290	13302	6.200
1680	10357	4.192	1280	13391	6.269
1670	10423	4.232	1270	13481	6.340
1660	10490	4.272	1260	13572	6.412
1650	10557	4.313	1250	13664	6.485
1640	10625	4.354	1240	13757	6.559

Tavola di ritardazione G-5					
V - fs	S - ft	T - sec	V - fs	S - ft	T - sec
1230	13851	6.636	830	23323	16.426
1220	13946	6.713	820	23727	16.916
1210	14042	6.792	810	24136	17.418
1200	14140	6.873	800	24550	17.931
1190	14239	6.956	790	24967	18.457
1180	14340	7.042	780	25390	18.995
1170	1443	7.130	770	25816	19.546
1160	14549	7.221	760	26248	20.109
1150	14659	7.315	750	26683	20.686
1140	14773	7.415	740	27124	21.277
1130	14892	7.520	730	27568	21.882
1120	15017	7.631	720	28018	22.502
1110	15150	7.751	710	28472	23.137
1100	15292	7.879	700	28931	23.788
1090	15444	8.018	690	29394	24.455
1080	15608	8.169	680	29863	25.139
1070	15784	8.332	670	30336	25.841
1060	15973	8.510	660	30815	26.560
1050	16176	8.702	650	31299	27.299
1040	16393	8.910	640	31788	28.058
1030	16624	9.134	630	32283	28.837
1020	16870	9.373	620	32784	39.638
1010	17129	9.628	610	33290	30.462
1000	17398	9.897	600	33803	31.310
990	17681	10.180	590	34322	32.182
980	17973	10.478	580	34848	33.081
970	18276	10.788	570	35381	34.008
960	18589	11.112	560	35921	34.963
950	18910	11.449	550	36468	35.950
940	19240	11.478	540	37024	36.969
930	19578	12.159	530	37587	38.023
920	19924	12.533	520	38160	39.113
910	20277	12.919	510	38241	40.242
900	20637	13.317	500	39332	41.412
890	21104	13.726	490	39932	42.625
880	21376	14.148	480	40543	43.885
870	21755	14.581	470	41165	45.193
860	22139	15.025	460	41798	46.554
850	22529	15.481	450	42442	47.971
840	22924	15.948	440	43099	49.448

Tavola di ritardazione G-5					
V - fs	S - ft	T - sec	V - fs	S - ft	T - sec
430	43769	50.988	250	59205	98.579
420	44453	52.596	240	60354	103.273
410	45150	54.278	230	61553	108.374
400	45863	56.039	220	62804	113.939
390	46593	57.885	210	64114	120.033
380	47339	59.823	200	65488	126.738
370	48103	61.861	190	66933	134.150
360	48886	64.007	180	68456	142.387
350	49689	66.270	170	70067	151.597
340	50514	68.662	160	71776	161.962
330	51363	71.194	150	73596	173.714
320	52236	73.880	140	75543	187.150
310	53135	76.735	130	77635	202.662
300	54062	79.777	120	79896	220.769
290	55020	83.024	110	82355	242.180
280	56010	86.500	100	85051	267.891
270	56036	90.230			
260	58100	94.245			

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
3600	2328.63	.613	2340.32	1.01040
3590	2387.45	.629	2399.76	1.01069
3580	2446.31	.645	2459.26	1.01098
3570	2505.21	.661	2518.81	1.01128
3560	2564.15	.678	2578.42	1.01158
3550	2623.13	.695	2638.09	1.01188
3540	2682.15	.712	2697.82	1.01218
3530	2741.22	.729	2757.62	1.01248
3520	2800.33	.746	2817.48	1.01279
3510	2859.48	.763	2877.40	1.01310
3500	2918.67	.780	2937.38	1.01341
3490	2977.91	.797	2997.42	1.01372
3480	3037.19	.814	3057.53	1.01403
3470	3096.52	.831	3117.70	1.01435
3460	3155.90	,848	3177.94	1.01467
3450	3215.32	.865	3238.24	1.01499
3440..	3274.80	.882	3298.62	1.01531
3430	3334.32	.899	3359.06	1.01563
3420	3393.89	.916	3419.57	1.01596
3410	3453.50	.934	3480.15	1.01629
3400	3513.17	.952	3540.80	1.01662
3390	3572.90	.969	3601.53	1.01695
3380	3632.68	.987	3662.33	1.01729
3370	3692.51	1,005	3723.21	1.01763
3360	3752.40	1.024	3784.17	1.01797
3350	3812.35	1.041	3845.21	1.01831
3340	3872.36	1.059	3906.33	1.01866
3330.	3932.43	1,077	3967.53	1.01900
3320	3992.56	1.095	4028.81	1.01936
3310	4052.75	1.113	4090.17	1.01971
3300	4113.00	1.131	4151.61	1.02006
3290	4173.31	1.149	4213.14	1.02042
3280	4233.68	1.167	4274.76	1.02078
3270	4294.12	1.185	4336.46	1.02114
3260	4354.62	1.203	4398.25	1.02150
3250	4415.18	1.222	4460.12	1.02187

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
3240	4475.80	1.241	4522.06	1.02224
3230	4536.47	1.260	4584.09	1.02261
3220	4597.20	1.279	4646.21	1.02299
3210	4657.99	1.298	4708.41	1.02337
3200	4718.84	1.317	4770.69	1.02375
3190	4779.75	1.336	4833.06	1.02413
3180	4840.71	1.355	4895.50	1.02452
3170	4901.70	1.374	4958.00	1.02491
3160	4962.71	1.393	5020.55	1.02530
3150	5023.75	1.412	5093.15	1.02569
3140	5084.81	1.431	5145.79	1.02609
3130	5145.89	1.451	5208.46	1.02649
3120	5206.98	1.471	5271.18	1.02689
3110	5268.08	1.491	5333.93	1.02729
3100	5329.18	1.511	5396.70	1.02770
3090	5390.29	1.531	5459.50	1.02811
3080	5451.40	1.551	5522.32	1.02852
3070	5512.50	1.571	5585.16	1.02894
3060	5573.58	1.591	5648.02	1.02936
3050	5634.64	1.611	5710.88	1.02978
3040	5695.67	1.631	5773.74	1.03020
3030	5756.68	1.651	5836.60	1.03063
3020	5817.65	1.671	5899.45	1.03106
3010	5878.59	1.691	5962.28	1.03149
3000	5939.48	1.711	6025.09	1.03192
2990	6000.32	1.731	6087.89	1.03236
2980	6061.12	1.751	6150.67	1.03280
2970	6121.86	1.771	6213.42	1.03324
2960	6182.56	1.791	6276.15	1.03368
2950	6243.21	1.811	6338.86	1.03413
2940	6303.82	1.832	6401.55	1.03458
2930	6364.39	1.853	6464.22	1.03503
2920	6424.92	1.874	6526.88	1.03548
2910	6485.41	1.895	6589.52	1.03594
2900	6545.86	1.916	6652.16	1.03640
2890	6606.27	1.937	6714.79	1.03686
2880	6666.64	1.958	6777.40	1.03733
2870	6726.98	1.979	6840.00	1.03780
2860	6787.29	2.000	6902.60	1.03827

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2850	6847.56	2.021	6965.19	1.03875
2840	6907.81	2.042	7072.78	1.03923
2830	6968.03	2.063	7090.37	1.03971
2820	7028.21	2.084	7152.96	1.04019
2810	7088.37	2.106	7215.56	1.04068
2800	7148.51	2.128	7278.17	1.04117
2800	7148.51	2.128	7278.16	1.04117
2790	7208.62	2.149	7340.76	1.04166
2780	7268.71	2.171	7403.36	1.04216
2770	7328.78	2.192	7465.97	1.04266
2760	7388.83	2.214	7528.59	1.04317
2750	7448.85	2.236	7591.23	1.04368
2740	7508.87	2.257	7653.89	1.04419
2730	7568.88	2.279	7716.56	1.04471
2720	7628.88	2.301	7779.26	1.04523
2710	7688.87	2.324	7841.98	1.04575
2700	7748.85	2.346	7904.73	1.04628
2690	7808.83	2.368	7967.50	1.04681
2680	7868.80	2.390	8030.30	1.04734
2670	7928.77	2.413	8093.12	1.04788
2660	7988.74	2.435	8155.97	1.04842
2650	8048.72	2.458	8218.87	1.04897
2640	8108.70	2.481	8281.80	1.04952
2630	8168.68	2.504	8344.77	1.05008
2620	8228.68	2.526	8407.79	1.05064
2610	8288.68	2.549	8470.85	1.05120
2600	8348.70	2.572	8533.96	1.05177
2590	8408.73	2.595	8597.10	1.05234
2580	8468.77	2.618	8660.30	1.05292
2570	8528.83	2.642	8723.55	1.05350
2560	8588.91	2.665	8786.86	1.05409
2550	8649.01	2.689	8850.24	1.05468
2540	8709.13	2.713	8913.66	1.05528
2530	8769.27	2.737	8977.14	1.05588
2520	8829.44	2.760	9040.69	1.05649
2510	8889.63	2.784	9104.30	1.05710
2500	8949.84	2.808	9167.98	1.05772
2490	9010.09	2.832	9231.72	1.05834

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2480	9070.37	2.857	9295.54	1.05897
2470	9130.68	2.881	9359.43	1.05960
2460	9191.03	2.905	9423.39	1.06024
2450	9251.42	2.930	9487.44	1.06088
2440	9311.85	2.955	9551.57	1.06153
2430	9372.32	2.979	9615.78	1.06219
2420	9432.83	3.004	9680.07	1.06285
2410	9493.38	3.029	9744.45	1.06153
2400	9553.98	3.055	9808.92	1.06419
2390	9614.62	3.081	9873.47	1.06487
2380	9675.32	3.106	9938.12	1.06556
2370	9736.07	3.132	10002.87	1.06625
2360	9796.87	3.157	10067.72	1.06695
2350	9857.72	3.183	10132.67	1.06766
2340	9918.63	3.209	10197.72	1.06837
2330	9979.60	3.235	10262.87	1.06909
2320	10040.63	3.262	10328.14	1.06982
2310	10101.72-	3.288	10393.51	1.07055
2300	10162.87	3.315	10459.01	1.07129
2290	10224.08	3.341	10524.61	1.07204
2280	10285.37	3.368	10590.33	1.07279
2270	10346.72	3.395	10656.16	1.07355
2260	10408.14	3.422	10722.13	1.07432
2250	10469.63	3.449	10788.22	1.07510
2240	10531.20	3.477	10854.43	1.07589
2230	10592.84	3.504	10920.77	1.07668
2220	10654.56	3.532	10987.25	1.07748
2210	10716.36	3.560	11053.85	1.07829
2200	10778.24	3.588	11120.60	1.07911
2190	10840.20	3.616	11187.48	1.07994
2180	10902.25	3.644	11254.51	1.08078
2170	10964.38	3.673	11321.67	1.08163
2160	11026.59	3.701	11388.98	1.08248
2150	11088.90	3.730	11456.46	1.08334
2140	11151.30	3.759	11524.10	1.08421
2130	11213.80	3.789	11591.90	1.08509
2120	11276.40	3.818	11659.85	1.08598
2110	11339.09	3.848	11727.96	1.08688
2100	11401.88	3.877	11796.25	1.08779

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
2090	11464.78	3.907	11864.69	1.08871
2080	11527.78	3.938	11933.31	1.08964
2070	11590.90	3.968	12002.11	1.09058
2060	11654.12	3.999	12071.09	1.09153
2050	11717.46	4.030	12140.26	1.09250
2040	11780.91	4.061	12209.61	1.09348
2030	11844.48	4.093	12279.15	1.09447
2020	11908.17	4.124	12348.89	1.09547
2010	11971.99	4.156	12418.83	1.09648
2000	12035.93	4.188	12488.98	1.09750
1990	12100.01	4.220	12559.33	1.09854
1970	12228.56	4.285	12700.68	1.10065
1960	12293.04	4.317	12771.68	1.10172
1950	12357.67	4.350	12842.92	1.10281
1940	12422.44	4.383	12914.39	1.10391
1930	12164.22	4.253	12629.90	1.09959
1930	12487.36	4.417	12986.08	1.10502
1920	12552.42	4.450	13058.01	1.10615
1910	12617.64	4.484	13130.19	1.10729
1900	12683.02	4.519	13202.63	1.10845
1890	12748.56	4.553	13275.32	1.10962
1880	12814.26	4.588	13348.30	1.11081
1870	12880.13	4.624	13421.50	1.11201
1860	12946.17	4.659	13494.98	1.11323
1850	13012.39	4.695	13568.73	1.11447
1840	13078.78	4.731	13642.76	1.11572
1830	13145.35	4.768	13717.06	1.11699
1820	13212.08	4.804	13791.66	1.11828
1810	13279.00	4.841	13866.58	1.11959
1800	13346.13	4,878	13941,77	1.12092
1790	13413.46	4.915	14017.29	1.12227
1780	13480.99	4.953	14093.12	1.12363
1770	13548.72	4.991	14169.28	1.12501
1760	13616.71	5.029	14245.73	1.12641
1750	13684.85	5.068	14322.53	1.12783
1740	13753.21	5.108	14399.68	1.12927
1730	13821.79	5.147	14477.17	1.13073
1720	13890.58	5.187	14555.01	1.13222
1710	13959.59	5.228	14633.20	1.13373

avola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1700	14029.84	5.268.	14711.75	1.13526
1690	14098.32	5.309	14790.67	1.13681
1680	14168.04	5.351	14869.98	1.13839
1670	14237.97	5.392	14949.66	1.13999
1660	14308.14	5.434	15029.73	1.14162
1650	14378.59	5.477	15110.20	1.14328
1640	14449.24	5.521	15191.08	1.14496
1630	14520.19	5.564	15272.47	1.14667
1620	14591.40	5.608	15354.17	1.14840
1610	14662.87	5.653	15436.30	1.15016
1600	14734.61	5.697	15518.87	1.15195
1590	14806.68	5.742	15601.90	1.15377
1580	14878.98	5.787	15685.38	1.15562
1570	14951.57	5.833	15769.32	1.15750
1560	15024.44	5.879	15853.74	1.15941
1550	15097.61	5.926	15938.64	1.16136
1540	15171.08	5.973	16024.04	1.16334
1530	15244.85	6.021	16109.94	1.16536
1520	15318.93	6.070	16196.35	1.16741
1510	15393.33	6.119	16283.29	1.16950
1500	15468.05	6.169	16370.75	1.17162
1490	15543.10	6.219	16458.76	1.17378
1480	15618.49	6.270	16547.33	1.17597
1470	15694.22	6.321	16636.47	1.17820
1460	15770.29	6.373	16726.18	1.18048
1450	15846.72	6.426	16816.49	1.18281
1440	15923.52	6.479	16907.41	1.18518
1430	16000.66	6.533	16998.96	1.18759
1420	16078.21	6.588	17091.15	1.19004
1410	16156.14	6.643	17183.98	1.19254

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1400	16234.46	6.699	17277.49	1.19509
1390	16313.19	6.755	17371.66	1.19769
1380	16392.33	6.812	17466.55	1.20034
1370	16471.90	6.870	17562.17	1.20305
1360	16551.92	6.929	17658.54	1.20581
1350	16632.41	6.988	17755.70	1.20863
1340	16713.33	7.048	17853.68	1,21151
1330	16794.86	7.109	17952.51	1.21445
1320	16876.87	7.171	18952.23	1.21746
1310	16959.44	7.233	18152.88	1.22053
1300	17042.60	7.297	18254.50	1.22367
1290	17126.37	7.362	18356.13	1.22688
1280	17210.79	7.427	18460.83	1.23016
1270	17295.90	7.494	18565.67	1.23352
1260	17381.74	7.562	18671.71	1.23697
1250	17468.40	7.631	18779.06	1.24051
1240	17555.93	7.701	18887.82	1.24414
1230	17644.42	7.773	18998.07	1.24787
1220	17733.95	7.846	19109.97	1.25171
1210	17824.66	7.921	19223.69	1.25566
1200	17916.70	7.997	19339.45	1.25974
1190	18010.1	8.075	19457.4	1.26395
1180	18105.4	8.155	19578.0	1.26831
1170	18202.6	8.238	19701.6	1.27284
1160	18302.2	8.323	19828.6	1.27756
1150	18404.6	8.412	19959.7	1.28250
1140	18510.2	8.504	20095.2	1.28768
1130	18619.6	8.601	20236.6	1.29314
1120	18734.1	8.702	20384.9	1.29896
1110	18855.5	8.811	20543.1	1.30524
1100	18986.4	8.930	20814.3	1.31213
1090	19128.6	9.060	20901.4	1.31975
1080	19282.6	9.202	21105.4	1.32817
1070	19447.3	9.355	21324.8	1.33733
1060	19621.1	9.518	21558.1	1.34719
1050	19803.2	9.691	21904.3	1.35771
1040	19992.4	9.872	22062.3	1.36885

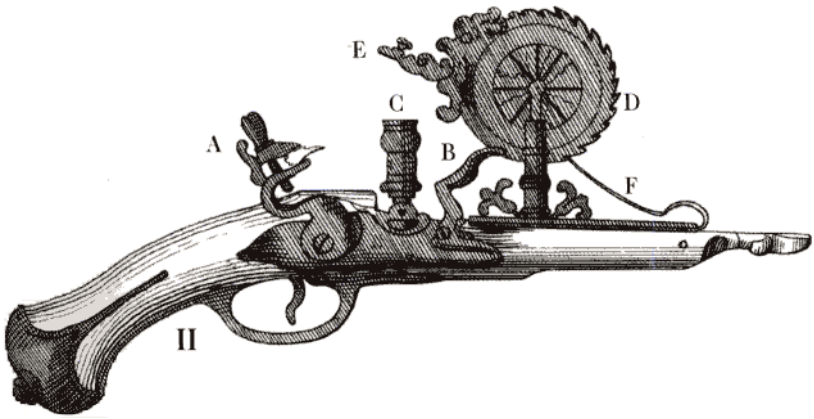
Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
1030	20187.9	10.061	22331.0	1.38058
1020	20389.0	10.257	22610.0	1.39290
1010	20595.5	10.460	22898.9	1.40578
1000	20806.9	10.671	23197.5	1.41924
990	21022.9	10.888	23505.7	1.43327
980	21243.5	11.112	23823.4	1.44789
970	21468.3	11.342	24150.6	1.46310
960	21697.2	11.579	24487.2	1.47890
950	21929.9	11.823	24833.3	1.49531
940	22166.3	12.072	25188.8	1.51233
930	22406.2	12.330	25553.8	1.52998
920	22649.6	12.593	25928.4	1.54827
910	22896.3	12.863	26312.7	1.56722
900	23146.4	13.139	26707.0	1.58685
890	23399.7	13.422	27111.6	1.60719
880	23656.4	13.712	27526.8	1.62826
870	23916.4	14.00¾	27953.0	1.65010
860	24179.8	14.314	28390.7	1.67274
850	24446.¾	14.626	28840.3	1.69623
840	24717.2	14.946	29302.3	1.72058
830	24^91.3	15.274	29777.3	1.74586
820	25269.1	15.611	30265.9	1.77211
810	25550.6	15.956	30768.7	1.79937
800	25835.9	16.311	31286.1	1.82768
790	26125.1	16.675	31818.8	1.85710
780	26418.1	17.048	32367.5	1.88768
770	26715.2	17.431	32932.9	1.91948
760	27016.2	17.825	33515.7	1.95256
750	27321.3	18.229	34116.6	1.98698
740	27630.5	18.644	34736.6	2.02280
730	27943.9	19.070	35376.3	2.06011
720	28261.5	19.509	36036.8	2.09896
710	28583.6	19.959	36719.2	2.13947
700	28910.1	20.422	37424.7	2.18172

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
690	29241.1	20.898	38154.1	2.22579
680	29576.7	21.388	38908.7	2127177
670	29917.0	21.892	39690.0	2.31981
660	30262.2	22.412	40499.4	2.37000
650	30612.4	22.946	41338.4	2.42249
640	30967.6	23.497	42208.6	2.47740
630	31328.0	24.064	43111.7	2.53487
620	31693.8	24.650	44050.1	2.59510
610	32065.2	25.254	45025.5	2.65824
600	32442.1	25.877	46039.9	2.72446
590	32824.8	26.520	47095.8	2.79398
580	33213.5	27.184	48195.8	2.86702
570	33608.4	27.871	49343.2	2.94383
560	34009.7	28.582	50540.6	3.02468
550	34417.6	29.316	51791.5	3.10982
540	34832.2	30.077	53099.3	3.19959
530	35253.8	30.865	54468.1	3.29431
520	35682.6	31.682	55902.1	3.39436
510	36118.7	32.529	57405.3	3.50011
500	36562.8	33.408	58984.3	3.61209
490	37015.1	34.322	60644.7	3.73080
480	37475.7	35.272	62392.0	3.85673
470	37944.7	36.260	64232.1	3.99043
460	38422.7	37.288	66173.4	4.13260
450	38910.1	38.359	68224.0	4.28400
440	39407.1	39.476	70393.1	4.44542
430	39914.2	40.642	72690.8	4.61778
420	40431.9	41.860	75128.4	4.80209
410	40960.9	43.135	77720.9	4.99966
400	41501.4	44.470	80480.3	5.21162
390	42054.0	45.868	83422.2	5.43937
380	42619.3	47.337	86565.7	5.68466
370	43198.0	48.880	89931.6	5.94936
360	43791.0	50.505	93543.8	6.23567
350	44398.6	52.217	97425.7	6.54575
340	45021.6	54.023	101607.3	6.88240
330	45661.0	55.932	106124.1	7.24891
320	46317.7	57.953	111014.5	7.64882

Tavola di ritardazione G-6				
V - fs	S - ft	T – sec.	A - ft	I
310	46992.8	60.096	116324.3	8.08646
300	47688.0	62.376	122111.2	8.56719
290	48404.5	64.805	128437.1	9.09683
280	49143.3	67.398	135370.4	9.68197
270	49906,2	70.173	143001.0	10.33095
260	50694.8	73.150	151430.2	11.05349
250	51511.4	76.352	160781.2	11.86141
240	52358.7	79.812	171211.7	12.76973
230	53237.6	83.553	182878.2	13.79375
220	54151.1	87.614	196002.2	14.94998
210	55102.9	92.043	210857.1	16.28012
200	56097.0	96.894	227784.9	17.80253
190	57138.0	102.235	247219	19.56476
180	58230.8	108.145	269703	21.62033
170	59380.9	114.719	295929	24.03797
160	60595.6	122.086	326840	26.91132
150	61884.3	130.406	363700	30.36643
140	63257.6	139.885	408226	34.57453
130	64725.9	150.770	462704	39.76606
120	66306.3	163.427	530570	46.28744
110	68018.3	178.334	616755	54.63693
100	69881.8	196.108	728408	65.54550

Relazione fra temperatura e pressione atmosferica

Temp.	Pressione in millimetri di mercurio					
(°C)	720	7 30	740	750	760	770
-10	1.051	1.066	1.080	1.095	1.109	1.124
- 9	1.047	1.062	1.076	1.091	1.105	1.120
- 8	1.043	1.058	1.072	1.086	1.101	1.115
- 7	1.039	1.054	1.068	1.082	1.097	1.111
- 6	1.035	1.050	1.064	1.078	1.093	1.107
- 5	1.031	1.046	1.060	1.074	1.090	1.103
- 4	1.027	1.042	1.056	1.070	1.085	1.099
- 3	1.024	1.038	1.052	1.066	1.081	1.095
- 2	1.020	1.034	1.048	1.062	1.077	1.091
- 1	1.016	1.030	1.044	1.058	1.073	1.087
0	1.012	1.026	1.041	1.055	1.069	1.083
1	1.009	1.023	1.037	1.051	1.065	1.079
2	1.005	1.019	1.033	1.047	1.061	1.075
3	1.001	1.015	1.029	1.043	1.057	1.071
4	.998	1.012	1.025	1.039	1.053	1.067
5	.994	1.008	1.022	1.035	1.049	1.063
6	.991	1.004	1.018	1.032	1.046	1.059
7	.987	1.001	1.014	1.028	1.042	1.056
8	.984	.997	1.011	1.024	1.038	1.052
9	.980	.994	1.007	1.021	1.034	1.048
10	.977	.990	1.004	1.017	1.031	1.044
11	.974	.986	1.000	1.014	1.027	1.041
12	.969	.984	.997	1.010	1.024	1.037
13	.966	.980	.993	1.007	1.020	1.034
14	.963	.976	.990	1.003	1.017	1.030
15	.960	.973	.986	1.000	1.013	1.026
16	.956	.969	.983	.996	1.009	1.023
17	.953	.966	.979	.993	1.006	1.019
18	.950	.963	.976	.989	1.003	1.016
19	.946	.960	.973	.986	.999	1.012
20	.943	.956	.969	.983	.996	1.009
21	.940	.953	.966	.979	.993	1.005
22	.937	.950	.963	.976	.989	1.002
23	.934	.946	.960	.973	.986	.998
24	.931	.944	.956	.969	.983	.995
25	.927	.941	.953	.966	.979	.992
26	.924	.937	.950	.963	.976	.988
27	.922	.934	.947	.960	.973	.985
28	.918	.931	.944	.956	.969	.982

29	.915	.928	.941	.953	.966	.979
30	.912	.925	.937	.950	.963	.975
31	.909	.922	.934	.947	.954	.972
32	.906	.919	.931	.944	.956	.969
33	.903	.916	.928	.941	.953	.966
34	.900	.913	.927	.938	.950	.963

Provapolvere

Listato del programma di balistica Winballit in QBASIC

```
100 CLS
120 PRINT "             *** BALLIT.BAS ***"

160 PRINT "        di   Edoardo Mori": PRINT
170 PRINT " NB: Per separare i decimali usare il PUNTO e non la virgola!": PRINT
180 PRINT "     Dati del proiettile per cui eseguire i calcoli": PRINT
200 INPUT "Diametro del proiettile in millimetri          : "; ca#: PRINT
220 INPUT "Peso del proiettile in grammi                  : "; m#: PRINT
230 PRINT " ": PRINT : PRINT
240 PRINT "              MENU"
260 PRINT "1 - Calcolo della traiettoria e dei dati relativi"
280 PRINT "2 - Calcolo della penetrazione nel legno e della relativa cavita'"
300 PRINT "3 - Calcolo della penetrazione nel ferro"
320 PRINT "4 - Calcolo della penetrazione nell'osso"
340 PRINT "5 - Calcolo della penetrazione nel corpo umano"
360 PRINT "6 - Variazione della velocità in relazione alla lunghezza della canna"
365 PRINT "7 – Velocità residua dopo perforazione ferro"
366 PRINT "8 – Velocità residua dopo perforazione legno di abete"
368 PRINT "9 - Introduzione dei dati di un diverso proiettile"
370 PRINT "0 - Uscita dal programma"
380 PRINT "    Batti il numero della elaborazione desiderata e poi INVIO": PRINT
400 INPUT A
420 IF A = 1 THEN 530
440 IF A = 2 THEN 6290
460 IF A = 3 THEN 7090
480 IF A = 4 THEN 10000
500 IF A = 5 THEN 8090
520 IF A = 6 THEN 9090
522 IF A = 7 THEN 10500
525 IF A = 8 THEN 10410
526 IF A = 9 THEN 170
528 IF A = 0 THEN END
530 CLS
540 PRINT "        CALCOLO DI UNA TRAIETTORIA"
560 PRINT "         Calcolo dei coefficienti ": PRINT
600 PRINT "1 - Vuoi che sia il programma a calcolare il coeff. aereodinamico?"
620 PRINT "2 - Vuoi inserire tu un particolare coeff. aereodinamico?": PRINT
680 PRINT "Scrivi 1 oppure 2 e batti ENTER/INVIO"
700 INPUT A
720 IF A = 1 THEN 760
740 IF A = 2 THEN GOSUB 6100
760 CLS
```

```
780 PRINT "      CALCOLO DEL COEFFICIENTE K DEL PROIETTILE"
800 PRINT "            Inserimento dei dati": PRINT : PRINT
820 INPUT "Velocita' in m/s all'inizio del tratto considerato  : "; vi#: PRINT
840 INPUT "Velocita' in m/s al termine del tratto considerato  : "; vf#: PRINT
860 INPUT "Lunghezza in metri del tratto considerato         : "; t#: PRINT
880 INPUT "Densita' dell'aria (standard 1.225 kg/mc)          : "; de#: PRINT
900 cw# = (LOG(vi#) - LOG(vf#)) / (de# * .000392699# * ca# ^ 2 * t# / m#)
920 k# = (ca# ^ 2 * cw# * de#) / (m# * 2546.479)
940 PRINT : PRINT "Il coeff. aereodinamico nel tratto e': "; USING "#.#####";
cw#;
960 PRINT : PRINT "Il coefficiente  K e':             "; USING "#.########"; k#;
980 PRINT : PRINT "     "
1010 REM --- Immissione dei dati sullo schermo ---
1030 PRINT "       INSERIMENTO DATI PER CALCOLO TRAIETTORIA": PRINT :
PRINT
1040 INPUT "Velocita' iniziale in metri al secondo            : "; v#: PRINT
1070 INPUT "Distanza di azzeramento in metri                 : "; fe#: PRINT
1080 INPUT "Distanza massima in metri da calcolare            : "; me#: PRINT
1090 INPUT "Intervalli di calcolo in metri (ogni x  m)        : "; s#: PRINT
1100 INPUT "Velocita' del vento laterale in metri al secondo   : "; qw#: PRINT
1102 INPUT "Altezza della linea di mira in millimetri         : "; hv#: PRINT
1104 hv# = hv# / 1000
1110 REM --- Dati della tabella ---
1120 CLS
1130 PRINT "Dati della traiettoria (Vento laterale di: "; qw#; " m/s)": PRINT
1140 PRINT " Dist-   Cadu-   Ordi-   Veloci-   Ener-  Deviaz. Tempo  Scar-
to"
1150 PRINT " anza     ta      nata    ta' res.   gia    vento   volo    mira  "
1160 PRINT " (m)     (cm)    (cm)    (m/s)      (J)    (cm)    (s)     (cm)  "
1170 PRINT "--------------------------------------------------------------------------"
2000 REM --- Calcoli ---
2010 REM --- Calcolo della caduta alla distanza di azzeramento ---
2020 h1# = 2.453 / ((k# ^ 2) * (v# ^ 2))
2030 h2# = (EXP(2 * k# * fe#)) - (2 * k# * fe#) - 1
2040 y# = h1# * h2#
2042 REM --- Calcolo della DOA ---
2044 ys# = (8 / 2) + .4 * (hv# * 100)
2046 tm# = .090305 * SQR(ys#)
2048 gee# = (1 / k#) * LOG((v# * k# * tm#) + 1)
2050 e% = 0 - s#
2060 FOR i% = 1 TO (me# + s#) STEP s#
2070 e% = e% + s#
2080 l = LEN(STR$(e%))
2090 REM  --- Calcolo della caduta del proiettile  ___
2100 h3# = 2.453 / ((k# ^ 2) * (v# ^ 2))
2110 h4# = (EXP(2 * k# * e%)) - (2 * k# * e%) - 1
2120 ye# = h3# * h4#
2130 REM --- Calcolo delle ordinate del proiettile ---
2140 yh# = e% * (y# / fe#) - ye#
2150 REM --- Calcolo della velocita' del proiettile ----
```

```
2160 ve# = v# * (EXP(-k# * e%))
2170 REM --- Calcolo dell'energia ---
2180 j# = (m# * (ve# * ve#)) / 2000
2190 REM --- Calcolo del tempo di volo ---
2200 t# = (1 / (v# * k#)) * ((EXP(k# * e%)) - 1)
2210 REM --- Calcolo della deviazione per il vento ---
2220 w# = (100 * qw#) * (t# - (e% / v#))
2230 REM --- Calcolo delle ordinate rispetto alla linea di mira ---
2240 hyv# = (hv# * (fe# - e%) / fe#)
2250 yv# = yh# - hyv#
3000 REM --- Formattazione e stampa sullo schermo ---
3100 PRINT TAB(5 - 1); e%;
3110 PRINT USING "########.#"; ye# * -100;
3120 PRINT USING "########.#"; yh# * 100;
3130 PRINT USING "########.#"; ve#;
3140 PRINT USING "##########"; j#;
3150 PRINT USING "#######.##"; w# * -1;
3160 PRINT USING "#####.####"; t#;
3170 PRINT USING "########.#"; yv# * 100
4000 NEXT i%: PRINT
5000 PRINT "La distanza ottimale di azzeramento e' di m  :"; USING "####";
gee#;
5040 PRINT : PRINT "  "
5050 PRINT " 1 - Vuoi tornare al menu ? "
5060 PRINT " 2 - Vuoi introdurre i dati di un diverso proiettile ?"
5070 INPUT B
5075 CLS
5080 IF B = 1 GOTO 230
5090 IF B = 2 GOTO 180
6050 REM  --- Calcolo di K essendo noto Cx ---
6100 PRINT "              INSERIMENTO DEI DATI": PRINT : PRINT
6140 INPUT "Valore del coeff. aereodinamico                : "; cw#: PRINT
6200 INPUT "Densita' dell'aria (standard 1.225 kg/mc)        : "; de#: PRINT
6220 k# = (ca# ^ 2 * cw# * de#) / (m# * 2546.479)
6240 PRINT : PRINT "Il coeff. aereodinamico nel tratto e': "; USING "#.#####";
cw#;
6260 PRINT : PRINT "Il coefficiente  K e':             "; USING "#.########"; k#;
6280 GOTO 1030
6290 CLS : PRINT
6300 PRINT "         --- Penetrazione nel legno di abete --- ": PRINT : PRINT
6350 PRINT " Per proiettili non camiciati la penetrazione e' inferiore del 20%":
PRINT
6400 INPUT "Velocita' di impatto del proiettile in m/s   : "; vf#: PRINT
6600 eg# = m# * vf# ^ 2 / 19620
6700 ph# = .0298 * m# * vf# ^ 1.5 / ca# ^ 2
6750 cv# = .000234 * m# * (vf# ^ 1.5)
6800 PRINT : PRINT "La penetrazione nel legno e' di cm :"; USING "###"; ph#;
6850 PRINT "Il volume della cavita' nel legno e' di cmc :"; USING "###.#"; cv#;
6900 GOTO 230
7090 CLS : PRINT
```

```
7300 PRINT "        --- Penetrazione in piastra di ferro ---": PRINT
7400 INPUT "Velocita' di impatto del proiettile in m/s   : "; vf#: PRINT
7600 eg# = m# * (vf# ^ 2) / 19620
7700 pf# = .194 * ((eg# ^ 3) / (ca# ^ 5)) ^ (1 / 4)
7800 PRINT : PRINT "La penetrazione nel ferro e' di cm   "; USING "###.##";
pf#;
7900 GOTO 230
8090 CLS : PRINT
8100 PRINT "        --- Penetrazione nel muscolo  umano ---": PRINT
8200 INPUT "Velocita' di impatto del proiettile in m/s   : "; vf#: PRINT
8300 ds# = m# / (.0078539 * (ca# ^ 2))
8400 vm# = 125 * (1 / ds#) + 22
8500 pu# = 2.3 * ds# * LOG((vf# - vm#) / 50)
8600 PRINT : PRINT "La penetrazione nel muscolo umano e' di cm   "; USING
"###.#"; pu#;
8650 PRINT : PRINT "La velocita' limite sulla cute e' di m/s    "; USING "##";
vm#;
8700 GOTO 230
9090 CLS : PRINT
9100 PRINT "--- Variazione della velocita' in relazione a lunghezza canna ---":
PRINT
9150 PRINT "In questo calcolo per lunghezza della canna  si intende il percor-
so"
9200 PRINT "del proiettile nella canna e quindi la tratta misurata dalla punta"
9250 PRINT "del proiettile in camera alla bocca + la lunghezza del proiettile":
PRINT
9350 INPUT "Velocita' del proiettile in canna nota in m/s    : "; vf#: PRINT
9400 INPUT "Percorso del proiettile nella canna nota  in mm : "; mc#: PRINT
9450 INPUT "Peso della polvere in grammi                 : "; po#: PRINT
9500 INPUT "Percorso del proiettile nella canna diversa mm  : "; pc#: PRINT
9550 cr# = vf# / (((mc# / (10 * ca#)) ^ .25) * ((po# / m#) ^ .5))
9600 vn# = ((pc# / ((10 * ca#))) ^ .25) * cr# * ((po# / m#) ^ .5)
9650 PRINT : PRINT "Velocita' nella nuova canna, m/s   "; USING "###"; vn#;
9700 GOTO 230
10000 CLS : PRINT
10050 PRINT "        --- Penetrazione nell'osso ---": PRINT
10100 PRINT "La costante C da impiegare e' 0.44 per proiettili di pistola cami-
ciati,"
10150 PRINT "0.30 per proiettili di piombo arrotondati e 0.15 per wad-cutter"
10200 INPUT " Costante                                   : "; c#: PRINT
10250 INPUT "Velocita' di impatto del proiettile in m/s      : "; vf#: PRINT
10300 pk# = c# * 10 * (m# / ca#) * ((vf# - 60) / 100) ^ 2
10350 PRINT : PRINT "La penetrazione nell'osso e' di cm   "; USING "###"; pk#;
10400 GOTO 230
10410 CLS : PRINT
10420 PRINT " --- Velocita' residua dopo perforazione di uno spessore di le-
gno---"
10430 INPUT "Velocita' di impatto del proiettile in m/s   : "; vf#: PRINT
10432 eg# = m# * vf# ^ 2 / 19620
10434 ph# = .0298 * m# * vf# ^ 1.5 / ca# ^ 2
```

```
10440 INPUT "Spessore del legno trapassato in cm              : "; sp#
10460 vr# = (((ph# - sp#) * (ca# ^ 2)) / (.0298 * m#)) ^ (1 / 1.5)
10480 PRINT "La velocita' residua del proiettile e di m/s   : "; USING "###";
vr#;
10482 GOTO 230
10500 CLS : PRINT
10550 PRINT "--- Velocita' residua dopo perforazione di uno  spessore di ferro
---"
10560 PRINT " "
10600 INPUT "Velocita' di impatto del proiettile in m/s   : "; vf#: PRINT
10650 INPUT "Spessore di ferro trapassato in cm         : "; pp#: PRINT
10700 eg# = m# * (vf# ^ 2) / 19620
10800 pf# = .194 * ((eg# ^ 3) / (ca# ^ 5)) ^ (1 / 4)
10850 er# = (((pf# - pp#) / .194) ^ 4 * ca# ^ 5) ^ (1 / 3)
10900 vr# = ((19620 * er#) / m#) ^ (.5)
11000 PRINT " La velocita' residua del proiettile e' di m/s : "; USING "###";
vr#;
11100 GOTO 230
```

Listato del programma in Qbasic per il calcolo dell'angolo di sito

```
10  CLS
12 PRINT "                  Edoardo Mori": PRINT
20 PRINT "   Calcolo dello scarto del punto di impatto rispetto": PRINT
30 PRINT "      alla linea di mira quando si spara con grande": PRINT
40 PRINT "                    ANGOLO DI SITO": PRINT
50 PRINT "    Occorre conoscere la distanza di azzeramento e i tempi di volo alla  ": PRINT
60 PRINT "    distanza desiderata. Si consiglia l'uso del programma Winballit, scaricabile ":PRINT
70 PRINT "    da questo sito (il tempo di volo su 100 metri è 0.1 - 0. 3 sec.)": PRINT
170 PRINT "   Lo scarto viene ulteriormente corretto per  l'errore di prospettiva": PRINT
180 PRINT "   che si ha quando il bersaglio non e' perpendicolare alla linea di mira ": PRINT
210 PRINT "   Per i decimali usare il punto e NON la virgola. ": PRINT
220 PRINT "        "
1100 INPUT "angolo di sito in gradi    :"; a#: PRINT
1200 INPUT "distanza di tiro scelta in m :"; xt#: PRINT
1300 INPUT "distanza di azzeramento in m :"; X#: PRINT
1400 INPUT "tempo di volo sulla distanza di tiro in m :"; ti#: PRINT
1500 INPUT "tempo di volo sulla distanza di azzeramento in sec.:"; T#: PRINT
1600 INPUT "altezza asse del cannocchiale in m (0.05)  :"; h#: PRINT

2000 ar# = a# * 3.1415 / 180
2100 arc# = COS(ar#)

2500 yy# = ((9.91 * T# ^ 2) / 2) * (xt# / X# - arc# * (ti# / T#) ^ 2) - (h * (1 - xt# / X#))
2550 y# = yy# * 100
2600 K# = y# / arc#

2900 PRINT "scarto     scarto corretto cm "
2910 PRINT "________________________________"
2920 PRINT USING "   ###"; y#;
2930 PRINT USING "           ###"; K#;
2940 PRINT "    "
2950 PRINT "    "
3650 PRINT " Vuoi eseguire un nuovo calcolo ? "
3652 PRINT "     "
3700 PRINT " Scrivi 1 per Si oppure 2 per uscire dal programma"
3750 INPUT b
3900 IF b = 1 THEN GOTO 30
3950 IF b = 2 THEN END
```

BIBLIOGRAFIA

In lingua italiana
G. BIANCHI, Corso Teorico pratico di balistica esterna, Torino 1910 F. GALANZINO, Balistica esterna, Roma 1943-1956 (ottimo)
R. GIULIANO, Balistica esterna, 2 vol., Torino 1955-1956
LEVI-CIVITA, AMALDI, Nozioni di balistica esterna, Bologna,1935
SIACCI F., Corso di balistica, 3 voi., Torino 1888
PARODI-CAVALLI, Balistica esterna, Torino 1901
G. RONCA - A. BASSINI, Manuale di balistica esterna, Livorno 1901
G. RONCA - G. PESCI, Abbachi per il tiro; abbachi generali della balistica, Livorno 1901
G. BRUNO, Tavole dei fattori di tiro, Roma 1934
F. FASELLA, Tavole balistiche secondarie, Genova 1901
G.A. PIGNONE, Appunti di balistica venatoria, Firenze 1976

In lingua francese
P. CHARBONNIER, Traité de balistique estérieure, Parigi 1904-1927
J. DIDION, Traité de balistique, Parigi 1848
F. HELIE, Traité de balistique expérimentale, Parigi 1884
G. PIOBERT, Traité d'artillerie théorique et pratique, Parigi 1831-1859
J.M.de TILLY, Balistique extérieure, Gand 1875
E. VALLIER, Balistique expérimentale, Parigi 1894
L. BESSE, Cour de balistique estérieure
R. D'ADHEMAR, La balistique extérieure

In lingua inglese
A. HAMILTON, Ballistics, 2 vol., Fort Monroe 1908
J.M. INGALLS, Exterior ballistics, New York 1886
E.J.M. SHANE - J.L. KELLEY - F.V. RENO, Exterior ballistics New York, 1962
E. LEIMANIS, Mathematical exterior ballistics, New York 1958
ROBERT L. MCCOY, Modern Exterior Ballistics, 2012
GEORGE KLIMI, Exterior Ballistics with Applications,2009
GEORGE KLIMI, Exterior Ballistics: A New Approach, 2010 (facile e istruttivo; contiene files con programmi).
*** Text Book of Small Arms,1929

In lingua tedesca
C. CRANZ, Lehrbuch der Ballistik, 4 vol.,Berlino 1925-1936 (fondamentale)
W. HEYDENRE1CH, Lehre vom Schuss und die Schusstafeln, 2 vol, Berlino 1898
H. MOL1TZ-R.STROBEL, Äussere Ballistik, Berlino 1963
R. SCHMIDT, Praktische Ballistik, Berlino 1957
H.H. KRITZ1NGER, Primärfunktionen, Norimberga 1943
R.E. KUTTERER, Ballistik, Braunschweig 1959
P. CURT1, Einführung in die Äussere Ballistik, 1945
G. HAUCK, Äussere Ballistik, Berlino Est, 1972
H. ATHEN, Ballistik, Heidelberg, 1958
K. SELLIER, Schusswaffen und Schusswirkungen, 2 vol., 1969
B. P, KNEUBUEHL e altri, Wundballistik, 2008
B. P, Kneubuehl. Geschosse, 2 vol., 1994
G. BOCH – W. WEIGEL, Fausfeuerwaffen, 1971
W. LAMPEL, Jagdballistik, 1971
***Handbuch für Artillerieoffiziere, Berlino 1967
***Waffentechnisches Taschenbuch Rheinmetall, Dusseldorf 1977

Gli articoli sono citati in nota ai singoli capitoli.

INDICE

La balistica esterna

Balistica venatoria

Balistica terminale